



PROYECTO Nº 252

BUQUE OCEANOGRÁFICO

DE 7.000 T

Cuaderno 1

Memoria explicativa

TUTOR: ELOY J. CARRILLO HONTORIA

ALUMNO: ALEJANDRO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
1.	INTRODUCCIÓN	4
2.	SITUACIÓN ACTUAL	5
3.	TIPOS DE INVESTIGACIÓN OCEANOGRÁFICOS	7
3.1.	OCEANOGRAFÍA BIOLÓGICA	7
3.2.	OCEANOGRAFÍA GEOLÓGICA	10
3.3.	OCEANOGRAFÍA QUÍMICA	10
3.4.	OCEANOGRAFÍA FÍSICA	11
4.	REQUISITOS, MISIÓN Y DESAFÍOS DEL PROYECTO	12
4.1.	REQUISITOS.....	12
4.2.	MISIÓN	12
4.3.	DESAFÍOS.....	13
5.	BIBLIOGRAFÍA	15



INDICE DE FIGURAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Ilustración 1. Temperatura superficie planeta.....	5
	Ilustración 2. Dispositivos buque oceanográfico	6
	Ilustración 3. Red de pesca de arrastre con puertas.....	7
	Ilustración 4. Roseta CTD	8
	Ilustración 5. Sistema CUFES.....	8
	Ilustración 6. Draga tipo Petersen.....	9
	Ilustración 7. Buque oceanográfico pesquero Emma Bardán.....	9
	Ilustración 8. Salinidad superficie marina	10
	Ilustración 9. Temperatura superficie marina.....	11
	Ilustración 10. Buque oceanográfico Hespérides.....	14



1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente Proyecto de fin de Carrera, es el diseño completo del anteproyecto de un buque de investigación oceanográfico.

A lo largo del proyecto se han diseñado todos los equipos, sistemas, estructuras y formas del buque, además de comprobarse que cumplen con toda la normativa aplicable, y todo ello en base a los requisitos dados de proyecto.

Sin embargo, antes de empezar el diseño del buque conviene entender qué se está haciendo, y para ello en este cuaderno se realizará una breve introducción al lector sobre el mundo de la investigación oceanográfica, su importancia y la situación actual.

Finalmente se introducirán los desafíos o puntos en los que se debe realizar una cuidadosa elaboración del proyecto para evitar errores y problemas durante el desarrollo del proyecto del buque.

Como se ha escrito en la primera línea del presente capítulo, lo que se está realizando en este proyecto nº 252 es el anteproyecto de un buque, por lo que el autor no se hace responsable de la construcción de un buque basándose únicamente en la información expuesta a lo largo de todo el proyecto, pues el objetivo del mismo ha sido realizar un diseño que permita demostrar la viabilidad del buque, y si se considerara avanzar un paso más en el proyecto, deberá mejorarse en sucesivas vueltas de la espiral de proyecto que conlleva su completa elaboración.

2. SITUACIÓN ACTUAL

Desde que la tierra apareciese en el universo no ha cesado de cambiar y evolucionar, pero sin duda el punto de inflexión más importante fue la aparición de los océanos hace 4.000 millones de años. Este hecho permitió entre otras cosas la aparición de vida en el planeta, distinguiéndole así del resto de cuerpos astrales que lo rodean en el espacio.

El agua es el recurso básico para la vida de todos los seres que habitamos su superficie, hasta tal punto que un 71% de la superficie del planeta está cubierta de agua, y se estima que el volumen total de agua sea aproximadamente 1.386 millones de kilómetros cúbicos, si se tienen en cuenta casquetes, océanos, ríos y aguas subterráneas.

Esto da una idea de su importancia y por tanto del interés del estudio del medio acuático. A través del estudio obtendremos los conocimientos que nos permitan comprender mejor el planeta en que vivimos y sus cambios evolutivos, prepararnos para ellos e incluso mitigar, en la medida de lo posible, los efectos perjudiciales que dichos cambios pudieran generar, por ejemplo los cambios producidos por la acción humana, que por todos es sabido, en ocasiones ha causado estragos en la naturaleza.

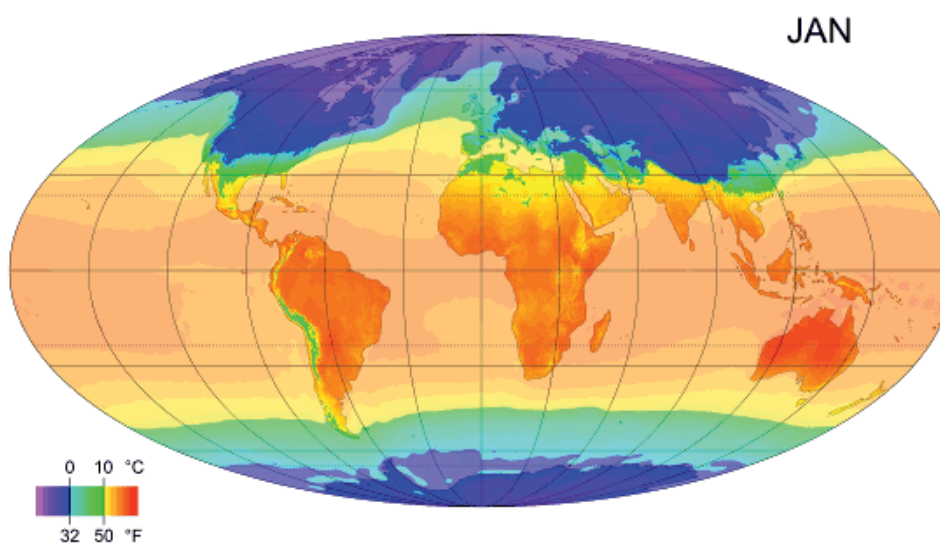


Ilustración 1. Temperatura superficie planeta

Algunos ejemplos de interés de estudio del medio acuático serían:

- El estudio del movimiento de las placas tectónicas que puede ayudar a estimar posibles terremotos o maremotos que puedan arrasar zonas costeras permitiendo tomar medidas para evitar situaciones que de otro modo serían fatales.
- El estudio de la ictiofauna podría detectar que un determinado área experimenta una gran disminución de la misma por causas ajenas a la pesca. A su vez esto posiblemente se deba a un cambio físico o químico en el agua, que solo podrá corregirse o mitigarse si se conoce el problema y la causa tras la adecuada

investigación.

- En muchos casos encontrar recursos fósiles se torna una tarea muy complicada, y la única forma de localizarlos pasa por un cuidadoso estudio de la zona con el equipo adecuado para tal labor.

Para todas estas labores y muchas otras la única solución es realizar un estudio “in situ”, para lo cual se requiere material tecnológicamente avanzado, personal que sepa utilizarlo y unos laboratorios donde puedan analizar los resultados. Como no sería rentable construir un laboratorio en medio del mar cada vez que se tenga que estudiar algo, se debe recurrir a una solución diferente: desplazar a todo el personal y sus equipos de trabajo hasta la zona con el menor coste posible, pero dotándoles de un lugar de trabajo amplio. Es esta necesidad la que viene a cubrir los buques de investigación oceanográfica.

Esta clase de buques se preparan para toda clase de misiones de estudio tanto del medio como de la fauna y flora que lo habita, permitiendo la recogida de datos y estudio inmediato.

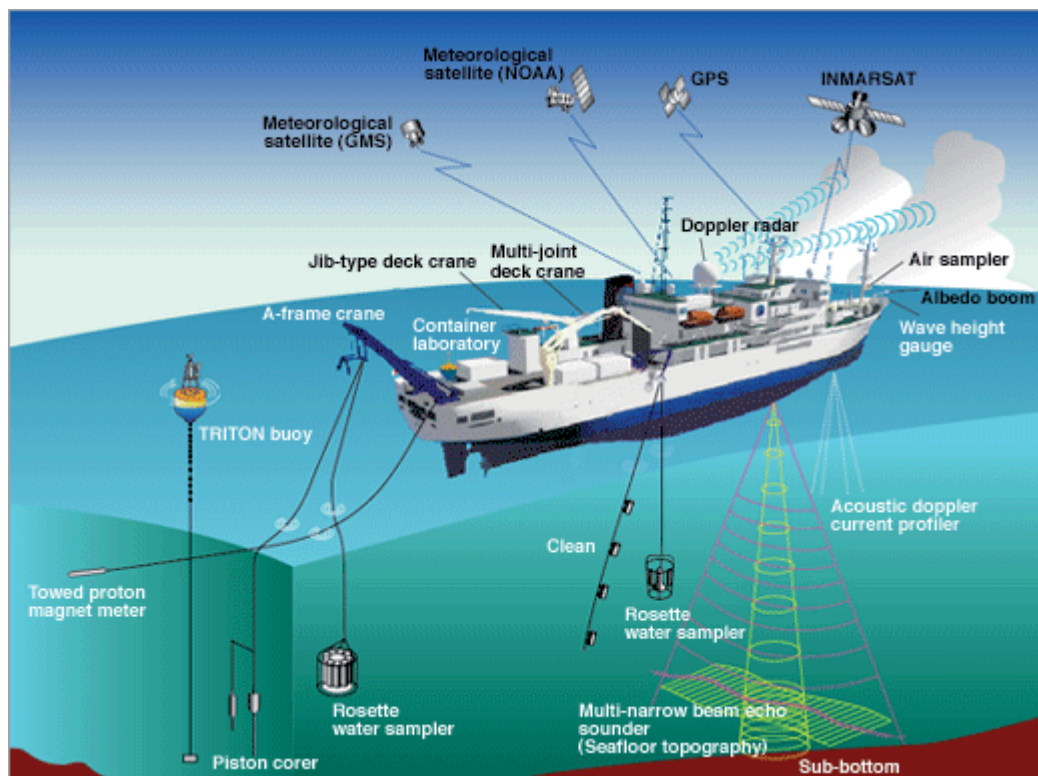


Ilustración 2. Dispositivos buque oceanográfico

3. TIPOS DE INVESTIGACIÓN OCEANOGRÁFICOS

Como se ha explicado, existen diferentes tipos de buques de investigación oceanográfica, cada uno de ellos con su misión particular, aunque normalmente se enfocan como buques de investigación multipropósito o incorporan diversas disciplinas para que puedan hacer frente a una mayor variedad de escenarios.

3.1. OCEANOGRAFÍA BIOLÓGICA

Este tipo de buques de investigación oceanográfica se dedican a la recogida de muestras de flora y fauna desde el buque, para ello se pueden emplear diferentes métodos.

Es común que estos buques puedan arrastrar por popa una red de pesca con puerta, normalmente de dimensiones más reducidas que un buque de pesca, pues el objetivo es atrapar algunas muestras para poder estudiarlas únicamente.



Ilustración 3. Red de pesca de arrastre con puertas

Otro sistema de recogida de muestras, empleado para el fitoplancton es la roseta CTD con botellas Niskin, un dispositivo común en estos buques para tomar muestras de agua marina a una profundidad determinada, pudiendo realizarse análisis a posteriori tanto químicos como biológicos.



Ilustración 4. Roseta CTD

Finalmente hay un sistema consistente en una bomba que aspira agua marina y la pasa por unos filtros en el interior del buque capaces de retener por ejemplo los huevos de las especies que habitan bajo la superficie del agua. Este sistema se conoce como sistema CUFES (Continuous Underway Fish Egg Sampler).

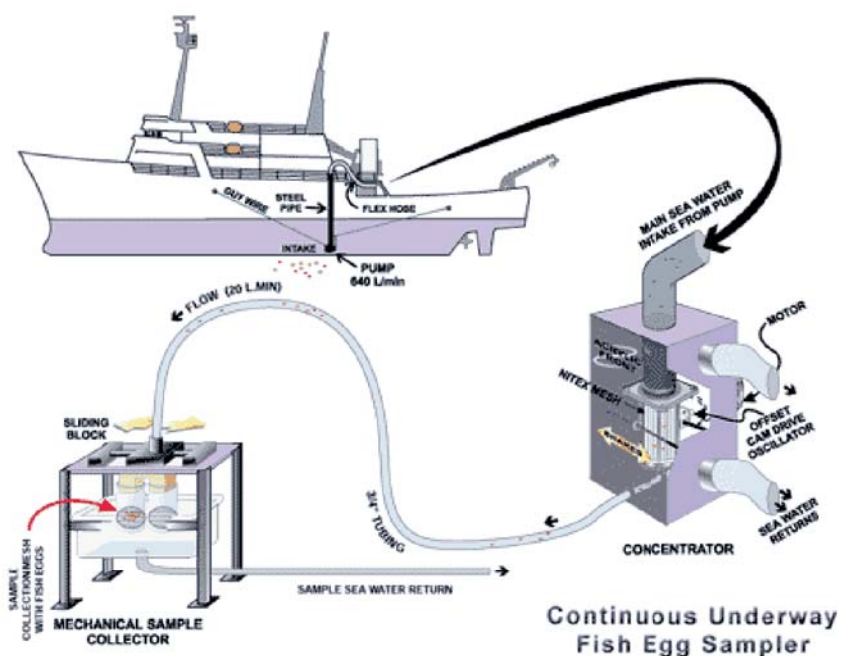


Ilustración 5. Sistema CUFES

También se pueden tomar muestras bentónicas o pelágicas mediante el uso de dragas, las cuales se montan sobre pequeñas grúas para ser operadas.



Ilustración 6. Draga tipo Petersen

Se están desarrollando actualmente nuevos sistemas, intentando siempre reducir al máximo la intervención humana en el medio, un sistema que está investigándose es la holografía láser, pudiendo con este sistema obtener datos sin realizar más labores adicionales.

Con estos sistemas, el buque dispondrá de suficiente capacidad para estudiar la zona y poder realizar un registro de la situación de la flora y fauna del área, por ejemplo para controlar la pesca o los vertidos que puedan afectar a los seres acuáticos que vivan o nadan cerca de los mismos.



Ilustración 7. Buque oceanográfico pesquero Emma Bardán

3.2. OCEANOGRAFÍA GEOLÓGICA

Como se ha explicado la investigación geológica es muy importante por diversos motivos, tanto por seguridad al controlar el movimiento de las placas de la tierra como para la búsqueda de recursos fósiles bajo el lecho marino, siendo esta segunda razón la misión más común para este tipo de buques, pues se están agotando los pozos localizados de recursos fósiles y hay que descubrir nuevos emplazamientos para continuar su explotación.

3.3. OCEANOGRAFÍA QUÍMICA

El objetivo principal de la oceanografía química es realizar un control de la composición química del agua del mar, de esta forma puede estudiarse la contaminación en determinadas zonas.

Oxígeno, nitrógeno, fósforo, silicio, hierro y silicio son nutrientes que pueden encontrarse en el mar y son necesarios para la vida de los animales y plantas que habitan en él, por ello deben estudiarse y controlarse, en previsión de que algún agente externo esté desequilibrando el sistema, y pudiera conducir a una disminución de la variedad y cantidad demográfica de flora y fauna en el área.

También se estudian las concentraciones de dióxido de carbono, la salinidad del mar y la acidez a través del pH.

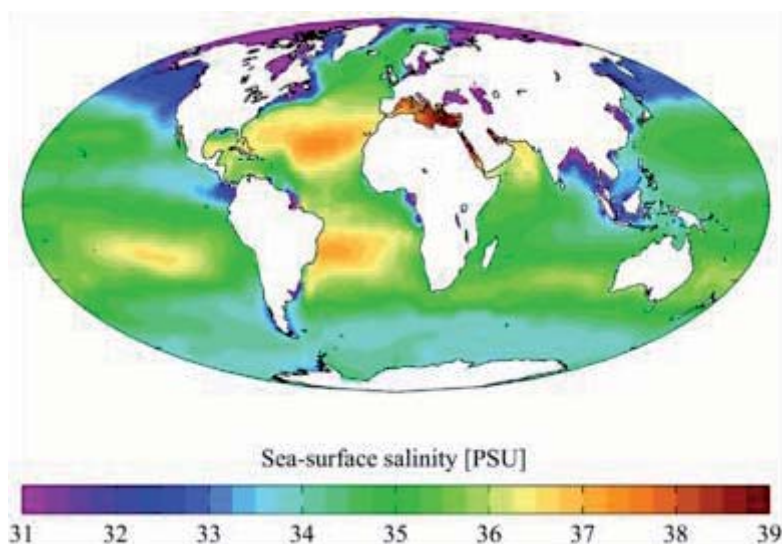


Ilustración 8. Salinidad superficie marina

3.4. OCEANOGRAFÍA FÍSICA

La oceanografía física se encarga de estudiar y analizar propiedades físicas del agua tales como la temperatura, la densidad o la conductividad eléctrica.

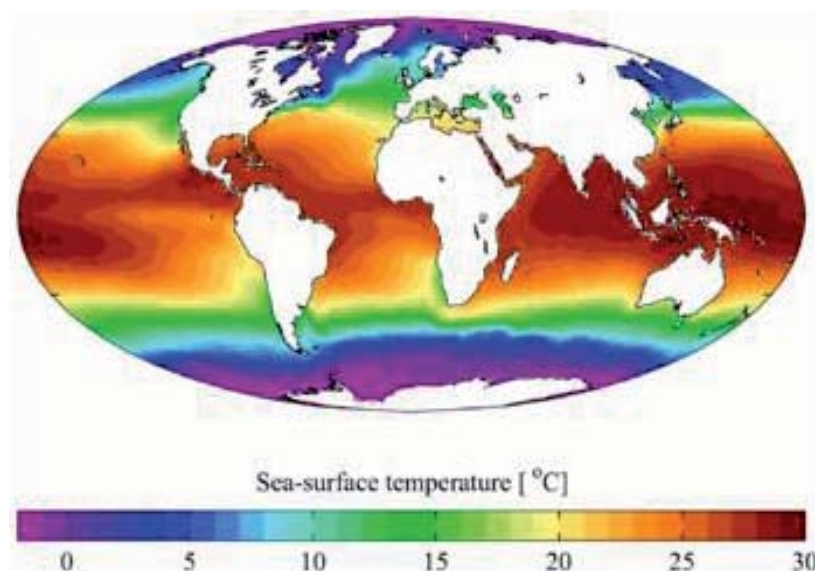


Ilustración 9. Temperatura superficie marina

También se estudian los movimientos de las masas de agua, lo que permite predecir y comprender las corrientes y mareas, que pueden ser empleadas en la generación energética como energías renovables.

Hay diversos métodos para medir estos movimientos de las masas de agua, sin embargo uno de los más empleados es un método pasivo, consistente en la colocación estratégica de boyas oceanográficas en determinados puntos del océano, que o bien recogen la información y la almacenan hasta que alguien la descargue o bien si es posible la envían por señal inalámbrica a donde corresponda.

Otro estudio físico que se realizan son la granulometría, normalmente en buques geofísicos, ya que es una disciplina relacionada con la investigación oceanográfica geológica.

Normalmente la oceanografía física y la oceanografía química se encuentran juntas, pues los estudios de ambas ramas se complementan entre sí.

En todas las disciplinas de investigación, pero más particularmente en la oceanografía físico-química, debe llevarse un control periódico de las zonas, pues como se ha dicho el planeta, por causas naturales o artificiales se encuentra en constante cambio, y un control periódico es lo que puede orientar al investigador sobre la tendencia y evolución del medio.



4. REQUISITOS, MISIÓN Y DESAFÍOS DEL PROYECTO

4.1. REQUISITOS

Los requisitos que se especifican para este proyecto son los siguientes:

Tipo de Buque: **BUQUE OCEANOGRÁFICO**

Capacidad: **25 tripulantes + 50 personal científico**

Características:

- Calado máximo 7,2 m
- Desplazamiento 7000 t
- Velocidad máxima 15 kn (90% MCR)
- Velocidad económica 11 kn
- Autonomía (vel. econ.) 20000 mn
- Propulsión Diesel-eléctrica con capacidad DPII
- Superficie zona científica >1000 m² (incluye cubierta y hangar trabajo)
- Superficie laboratorios >120 m²

- Equipamiento mínimo de cubierta:
 - Pórtico de popa con capacidad mínima de 20t
 - 5 Grúas de las siguientes características:
 - 2 de capacidad 15t a 15m
 - 2 de capacidad 3t a 15 m
 - 1 telescópica de 0,5t a 22 m

Sociedad de Clasificación: **BV**

Reglamentos: **SOLAS + MARPOL + exigibles a este tipo de buques.**

4.2. MISIÓN

No se especifica ninguna misión concreta ni territorio de operación, sin embargo si cuenta con una gran autonomía, que le permitirá realizar campañas de larga duración, y en ocasiones lejos de la costa, por lo que se va a armar en consonancia, para todo tipo de escenarios.

Por esta razón se tratará de disponer laboratorios de los siguientes tipos:

- Físico
- Geológico



- Químico
- Biológico
- Húmedo
- Seco
- Procesamiento de datos

Además de un laboratorio multipropósito que se adecúe en cada ocasión a lo que se requiera para la campaña, esto le dota de mayor versatilidad al buque y contribuye a alargar su vida útil de trabajo.

Se le va añadir un vehículo de operación remota (ROV) submarino.

Referente a los laboratorios se intentará disponer una mayor superficie que la especificada para que puedan trabajar con comodidad en el buque.

Por tanto, el buque a desarrollar no estará limitado a la realización de una labor específica en un campo tecnológico concreto, sino que se le dotará de capacidad para adaptarse a diferentes necesidades según tipos de investigación y trabajos. Esto hace que se le pueda considerar como un buque de investigación oceanográfico multipropósito.

4.3. DESAFÍOS

Antes de exponer los desafíos tecnológicos hay que destacar la escasez de este tipo de buques en la flota mundial frente al número de buques convencionales cargueros como bulk-carriers, portacontenedores o petroleros entre otros. Esto se traduce en una mayor dificultad para obtener información donde comparar y en la que basarse para el desarrollo del presente proyecto, además de pertenecer a buques demasiado antiguos para ser tenidos en cuenta como referencia.

En relación a los desafíos tecnológicos, se planteará el diseño de unas formas hidrodinámicas extraordinarias, que conlleven una reducción de ruidos y vibraciones, tanto interiores como exteriores. Interiormente para comodidad de los trabajadores, exteriormente para que alteren lo menos posible el medio que le rodea.

El buque deberá presentar además un buen comportamiento en la mar e incorporar un sistema de posicionamiento dinámico tipo "Dynamic Position II (DP II)", de tal manera que pueda mantener su posición durante las labores en los diferentes escenarios oceanográficos que encuentre. Se considerará para trabajar con estados de mar algo severos, no se diseñará para temporales o condiciones realmente extremas, ya que eso podría incrementar notablemente el precio final y el consumo del buque.



Ilustración 10. Buque oceanográfico Hespérides

Por tanto antes de comenzar el diseño del proyecto se debe realizar una amplia labor de investigación, con objeto de reducir el número de errores o aspectos a mejorar durante su desarrollo. El proceso a seguir será realizar una base de datos de buques oceanográficos de construcción no muy antigua, considerándose un máximo de 10 años.

Se estudiarán además otros temas como los equipos a bordo más comunes y los tipos de propulsión que suelen instalarse a fin de tomar una decisión con el criterio más elaborado posible, de tal manera que ninguna decisión se deje al azar.

Finalmente, se intentará que el buque sea tan respetuoso con el medio ambiente como sea posible, no solo porque va a tomar muestras y podría contaminarlas, sino porque este objetivo forma parte de la filosofía de esta clase de buques, siendo al fin y al cabo esta su principal y más importante misión.





5. BIBLIOGRAFÍA

La bibliografía específica empleada en cada cuaderno se adjuntará al final del mismo. Se recoge aquí, sin numerar, toda la bibliografía empleada a lo largo del desarrollo del proyecto.

- MEIZOSO FERNÁNDEZ, MANUEL; ALVARIÑO CASTRO, RICARDO; AZPÍROZ AZPÍROZ, JUAN JOSÉ. *“El Proyecto Básico del Buque Mercante”*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval, 1997.
- HARVALD, Sv. Aa; JUNCHER JENSEN, J. *“Steel weight estimation for ships”*. The Technical University of Denmark. Dept. of Ocean Engineering.
- AZPÍROZ, JUAN JOSÉ. *«Buques de suministro a plataformas de perforación»*. Ingeniería Naval, octubre 1975.
- SCHNEEKLUTH, H. *«Ship design for efficiency and economy»*. Butterworth & CO. 1987
- *“International Conference in Load Lines, 2005 Consolidated Edition”*, International Maritime Organization.
- *“Significant Ships”*, International Maritime 2004-2012.
- *“Significant Small Ships”*, International Maritime 2005-2011.
- <http://www.sea-web.com/>
- <http://www.researchvessels.org/>
- BAQUERO MAYOR, ANTONIO. *“Introducción a la Resistencia y Propulsión”*. ETSIN, 2011
- CARLIER DE LAVALLE, MANUEL. *“Tesis doctoral: Análisis hidrodinámico y proyecto del bulbo de proa”*. ETSIN, 1985
- *“International Conference in Load Lines, 2005 Consolidated Edition”*, International Maritime Organization, 1996.
- *“SOLAS”*, International Maritime Organization, 1974.
- *“Convenio sobre el trabajo marítimo (MLC)”*, International Labour Organization, 2006.
- *“MARPOL”*, International Maritime Organization, 1973/78.
- *“Rules for the Classification of Steel Ships”*, Bureau Veritas, 2015.
- *“Convenio internacional sobre arqueo de buques”*, OMI 1969
- LÓPEZ DE ASIAÍN, ALFONSO. *“Sistemas y equipos a bordo II, apuntes de clase”*, ETSIN, 2015
- TORROJA MENÉNDEZ, JAIME. *“Apuntes proyectos, Volumen I”*. ETSIN, 1987



-
- BLENDERMAN, W.; BRIX, J.; GRENSEMANN, K.; NORRBIN, N.H.; PIEPER, W.; SCHWANECKE, H.; SHARMA, S.D.; SÖDING, H.; WAGNER, B.; WEIB, F «Manoeuvring Technical Manual». Seehafen Verlag, Hamburgo 1993.
 - LÓPEZ PIÑEIRO, AMABLE. *“Diseño General de la Planta Eléctrica. Sistemas Eléctricos y Electrónicos a Bordo”*. ETSIN, 2013
 - LÓPEZ PIÑEIRO, AMABLE. *“Distribución Eléctrica a Bordo. Sistemas Eléctricos y Electrónicos a Bordo”*. ETSIN, 2013
 - SANTOS RODRÍGUEZ, LUIS; NUÑEZ BASÁÑEZ, JOSÉ FERNANDO. *“Fundamentos de pesca”*, Fondo Editorial Colegio de Ingenieros Navales, 1994
 - LÓPEZ PIÑEIRO, AMABLE. *“Iluminación a Bordo. Sistemas Eléctricos y Electrónicos a Bordo”*. ETSIN, 2013
 - MEIZOSO FERNÁNDEZ, MANUEL; GARCÍA GARCÉS, JOSE LUIS. *“Desplazamiento, cálculo iterativo del peso en rosca y peso muerto”*. ETSIN, 2000
 - MELO DOS SANTOS, CARLOS ALBERTO. *“Optimização estrutural de um navio graneleiro”*. Universidade Federal Rio de Janeiro, 1981
 - Resolución MSC. 216 (82). Adoption of amendments to the international convention for the safety of life at sea, 1974. IMO, Diciembre 2006
 - Resolución MSC. 266(84). Code of Safety for Special Purpose Ships, 2008
 - Resolución MSC. 267 (85). Adoption of the international code on intact stability, 2008 (2008 IS CODE), IMO. Diciembre, 2008
 - Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos. MARPOL, 2007



PROYECTO Nº 252

BUQUE OCEANOGRÁFICO

DE 7.000 T

Cuaderno 2

Dimensionamiento

TUTOR: ELOY J. CARRILLO HONTORIA

ALUMNO: ALEJANDRO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ



INDICE DE CONTENIDOS

Capítulo	Descripción	Página
1.	INTRODUCCIÓN.....	6
2.	BASE DE DATOS.....	7
3.	DETERMINACION FORMAS	8
3.1.	PRIMERA APROXIMACIÓN	8
3.1.1.	ESLORA TOTAL.....	8
3.1.2.	ESLORA ENTRE PERPENDICULARES.....	9
3.1.3.	MANGA.....	10
3.1.4.	PUNTAL.....	11
3.2.	SEGUNDA APROXIMACIÓN.....	12
3.2.1.	MANGA.....	12
3.2.2.	ESLORA ENTRE PERPENDICULARES.....	14
3.2.3.	ESLORA TOTAL.....	14
3.2.4.	RELACIONES ADIMENSIONALES.....	15
3.3.	COEFICIENTES DE FORMA.....	16
3.3.1.	COEFICIENTE DE BLOQUE	16
3.3.2.	COEFICIENTE DE LA MAESTRA	16
3.3.3.	COEFICIENTE PRISMÁTICO	18
3.3.4.	COEFICIENTE DE LA FLOTACIÓN.....	18
4.	POSICIÓN LONGITUDINAL DEL CENTRO DE CARENA	20
5.	CÁLCULO DE FRANCOBORDO	21
5.1.	ESLORA DE FRANCOBORDO.....	21
5.2.	ESTIMACIÓN EN FUNCIÓN DE CALADO Y PUNTAL	21
5.3.	ESTIMACIÓN POR NORMATIVA ILLC	22
5.3.1.	FRANCOBORDO TABULAR.....	22
5.3.2.	CORRECCIÓN POR ESLORA MENOR DE 100 METROS	22
5.3.3.	CORRECCIÓN POR COEFICIENTE DE BLOQUE.....	23
5.3.4.	CORRECCIÓN POR PUNTAL.....	23
5.3.5.	CORRECCIÓN POR SUPERESTRUCTURAS	24
5.3.6.	CORRECCIÓN POR ARRUFO	25



INDICE DE CONTENIDOS

Capítulo	Descripción	Página
5.3.7.	FRANCOBORDO TOTAL DE VERANO	26
6.	ALTURA MÍNIMA EN PROA	27
7.	PESOS DEL BUQUE.....	28
7.1.	PESO EN ROSCA	28
7.1.1.	APROXIMACIÓN ESTADÍSTICA DEL PESO EN ROSCA	29
7.1.2.	APROXIMACIÓN EN FUNCIÓN DE LAS DIMENSIONES	30
7.1.3.	APROXIMACIÓN POR FÓRMULAS.....	31
7.1.4.	COMPARACIÓN PESOS.....	33
8.	CENTRO DE GRAVEDAD DEL PESO EN ROSCA.....	34
8.1.	POSICIÓN VERTICAL DEL CENTRO DE GRAVEDAD	34
8.1.1.	ALTURA DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE LA ESTRUCTURA	34
8.1.2.	ALTURA DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE LOS EQUIPOS Y HABILITACIÓN	35
8.1.3.	ALTURA DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE LA MAQUINARIA	36
8.2.	POSICIÓN LONGITUDINAL DEL CENTRO DE GRAVEDAD	36
8.3.	POSICIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD (PESO EN ROSCA)	36
9.	ESTABILIDAD INICIAL	38
10.	CONCLUSIONES	39
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	40
12.	ANEXO 1: BASE DE DATOS.....	41



INDICE DE FIGURAS

Capítulo	Descripción	Página
	Figura 1: Recta de regresión (Disp -Loa)	8
	Figura 2: Recta de regresión (Disp -Lbp)	9
	Figura 3: Recta de regresión (Disp -B)	10
	Figura 4: Recta de regresión (T-D).....	11
	Figura 5: Recta de regresión (Loa -B)	12
	Figura 6: Recta de regresión (Lbp - B)	13
	Figura 7: Recta de regresión (B - LBT)	13
	Figura 8: Recta de regresión (Loa - Lbp).....	14
	Figura 9: Cm en función de Cb, Jensen 1994	17
	Figura 10: Recta de regresión (LSW - Disp)	29



INDICE DE TABLAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Tabla 1. Dimensiones principales.....	15
	Tabla 2. Relaciones adimensionales.....	15
	Tabla 3. Valores de Cm para diferentes métodos.....	17
	Tabla 4. Corrección de FB por superestructuras 1	24
	Tabla 5. Corrección de FB por superestructuras 2	24
	Tabla 6. Valores de Cso según tipo de buque	32
	Tabla 7. Comparativa de pesos	33
	Tabla 8. Cálculo de KG total del peso en rosca	37
	Tabla 9. Resumen valores iniciales obtenidos	39



1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de este cuaderno se van a definir las formas del buque, incluyendo sus dimensiones principales y coeficientes de forma, así como el estudio preliminar de ciertos parámetros, sin embargo los resultados aquí obtenidos, si bien supondrán la base sobre la que se va a diseñar el buque no serán necesariamente los valores finales del proyecto.

Los requisitos de diseño impuestos para este proyecto son los que siguen:

Tipo de Buque: **BUQUE OCEANOGRÁFICO**

Capacidad: **25 tripulantes + 50 personal científico**

Características:

- ☐ Calado máximo 7,2 m
- ☐ Desplazamiento 7000 t
- ☐ Velocidad máxima 15 kn (90% MCR)
- ☐ Velocidad económica 11 kn
- ☐ Autonomía (vel. econ.) 20000 mn
- ☐ Propulsión Diesel-eléctrica con capacidad DPII
- ☐ Superficie zona científica >1000 m² (incluye cubierta y hangar trabajo)
- ☐ Superficie laboratorios >120 m²
- ☐ Equipamiento mínimo de cubierta:
 - Pórtico de popa con capacidad mínima de 20t
 - 5 Grúas de las siguientes características:
 - 2 de capacidad 15t a 15m
 - 2 de capacidad 3t a 15 m
 - 1 telescópica de 0,5t a 22 m

Sociedad de Clasificación: **BV**

Reglamentos: **SOLAS + MARPOL + exigibles a este tipo de buques.**



2. BASE DE DATOS

Para realizar una primera aproximación a las dimensiones y formas del buque se ha procedido a recopilar una base de datos con las características de buques con formas similares. Para ello se ha realizado una búsqueda bibliográfica tanto en medios escritos especializados [6] y [7] como en medios “online” [8] y [9].

Debido a que las formas de los supply son muy similares a los oceanográficos (en algunos casos éstos últimos, son antiguos buques de apoyo reconvertidos), se han incluido también en la base de datos, solo a efectos de las formas, dado que sus capacidades y operatividades pueden diferir en gran medida.

La base de datos se encuentra en el ANEXO 1 de este cuaderno, y está clasificada por tipos de buque.



3. DETERMINACION FORMAS

3.1. PRIMERA APROXIMACIÓN

Una vez obtenida la base de datos, vamos a realizar un cálculo estadístico mediante rectas de regresión sobre las dimensiones de estos buques de formas similares, a fin de tener unos valores iniciales para las dimensiones principales de nuestro proyecto.

Dado que en las condiciones de diseño viene fijado el representativo valor de desplazamiento total, se va a hacer la primera aproximación con este parámetro para el resto de dimensiones características. Este valor no está disponible, en la mayoría de los buques de la base de datos, pero dada su importancia se aceptan los resultados para dicha estimación inicial de valores.

3.1.1. ESLORA TOTAL

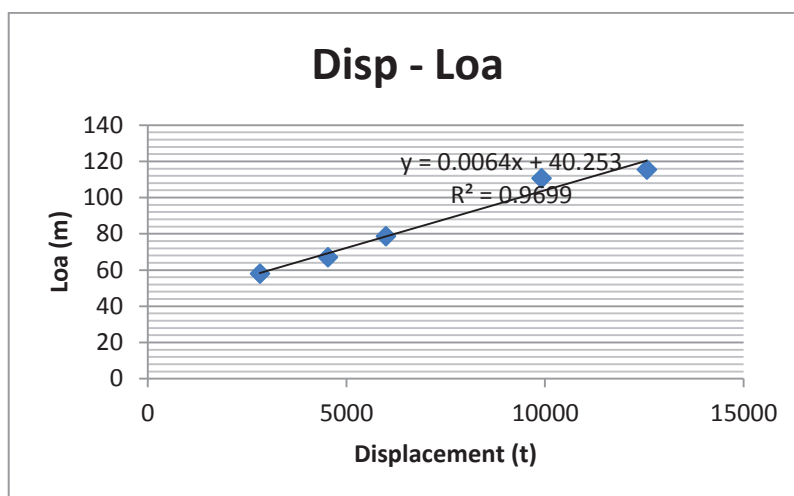


Figura 1: Recta de regresión (Disp -Loa)

Como podemos observar la dispersión de los puntos (indicada por R^2) es mínima, lo que nos indica una cierta coherencia en los valores, por tanto entrando en la ecuación de la recta con el desplazamiento de diseño (7.000 toneladas), obtendremos una eslora total (Loa) inicial de 85,05 metros.

$$y = 0.0064x + 40.253 = 85,05 \text{ m}$$



3.1.2. ESLORA ENTRE PERPENDICULARES

La Lbp es mucho más determinante que la anterior durante estas fases de diseño del proyecto, pues las formas sobre las que se está trabajando son las de la obra viva del buque, y la eslora en la flotación suele ser bastante más cercana a la eslora entre perpendiculares que a la total, la cual también dependerá de posteriores modificaciones sobre la obra muerta.

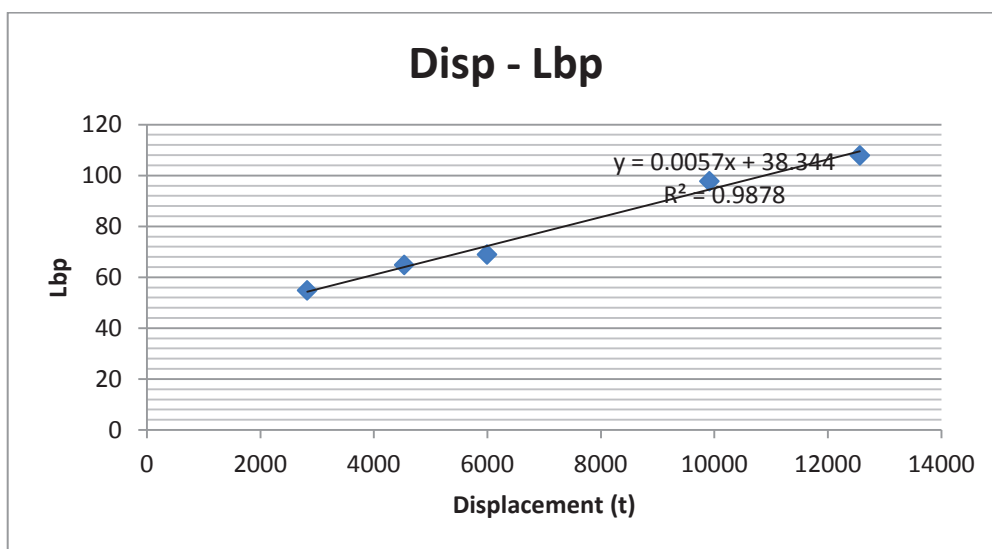


Figura 2: Recta de regresión (Disp -Lbp)

Con una dispersión muy reducida, incluso menor que la anterior realizamos el mismo proceso, entrando con el desplazamiento obtenemos:

$$y = 0.0057x + 38.344 = 77,54 \text{ m}$$

Logramos así una estimación de la eslora, y sabiendo el calado por los requisitos del proyecto procedemos a la tercera dimensión principal del buque, la manga.



3.1.3. MANGA

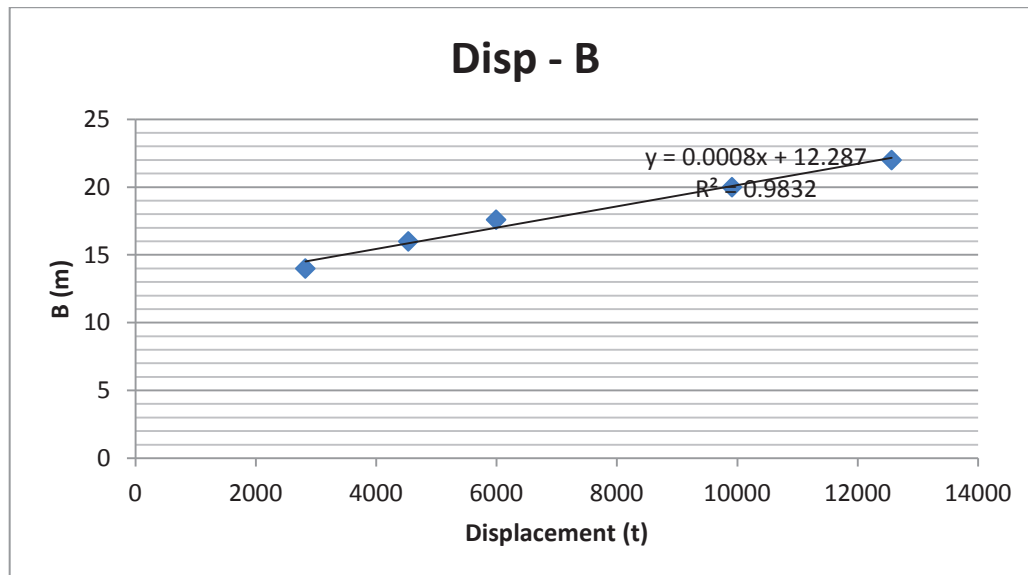


Figura 3: Recta de regresión (Disp -B)

Nuevamente estamos ante una coherencia de valores elevada, con un $R^2 = 0.9832$; y entrando en nuestra ecuación obtenemos:

$$y = 0.0008x + 12.287 = 17,89 \text{ m}$$



3.1.4. PUNTAL

Para el cálculo del puntal, ya que este se relaciona directamente con el calado (por ejemplo en el cálculo del francobordo) más que con otras dimensiones, será el valor que use para esta aproximación estadística, obteniendo la siguiente gráfica.

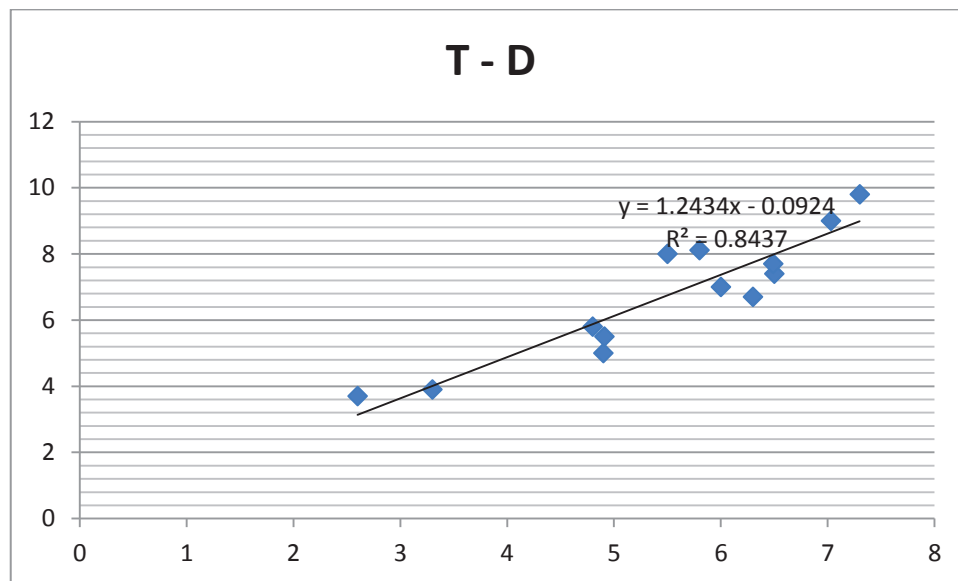


Figura 4: Recta de regresión (T-D)

Y valor:

$$y = 1,2434x - 0,0924 = 8,86 \text{ m}$$

Este valor se redefinirá más adelante en este mismo cuaderno cuando se estudie el valor del francobordo.



3.2. SEGUNDA APROXIMACIÓN

3.2.1. MANGA

Con el objetivo de ajustar más nuestros valores a los datos ya existentes se realiza un segundo estudio estadístico sobre un parámetro determinado, es este caso la manga, para ello se recalcula en base a tres parámetros diferentes de la base de datos, la eslora total, la eslora entre perpendiculares y el producto de la eslora, la manga y el calado.

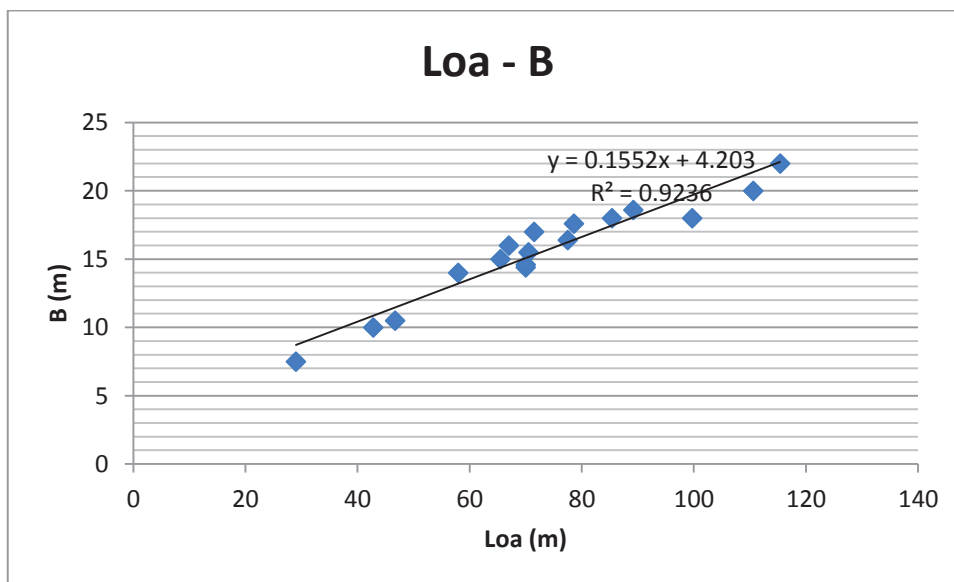


Figura 5: Recta de regresión (Loa -B)

El primero de los valores de la manga será:

$$y = 0.1552x + 4.203 = 17,39 \text{ m}$$

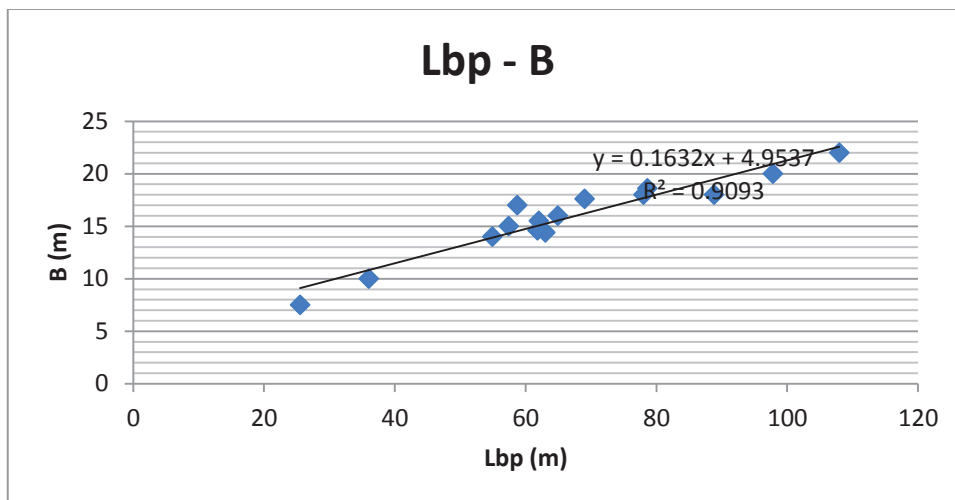


Figura 6: Recta de regresión (Lbp - B)

El segundo valor, referido a la eslora entre perpendiculares:

$$y = 0.1632x + 4.9537 = 17,59 \text{ m}$$

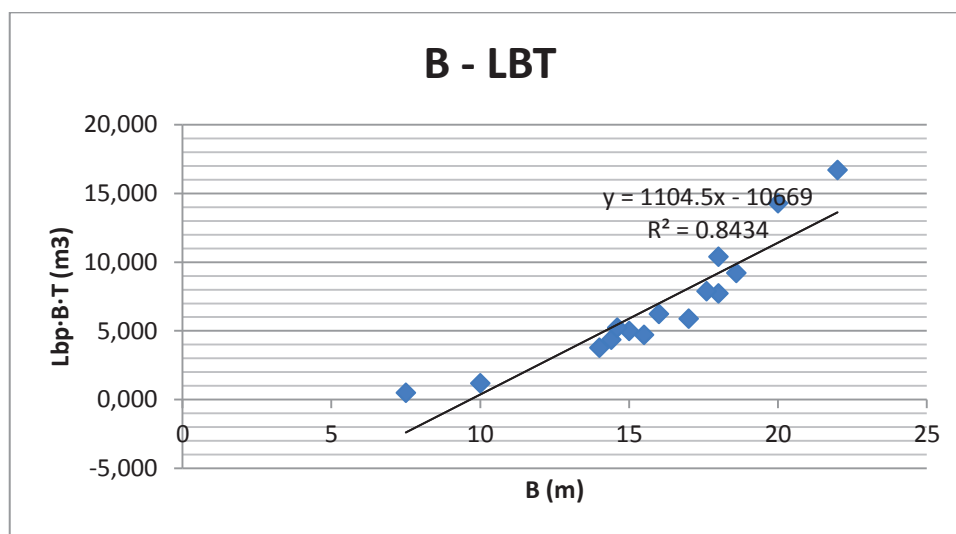


Figura 7: Recta de regresión (B - LBT)

Finalmente, usando el dato de LBT, importante ya que consiste en el paralelepípedo mínimo que engloba nuestro buque, es lo que define el coeficiente de bloque del mismo.

Este valor de la manga resulta:

$$y = 1104.5x - 10669 = 18,71 \text{ m}$$



Y realizando la media de los tres valores anteriores, podemos fijar la manga en:

$$B = 17,9 \text{ m}$$

3.2.2. ESLORA ENTRE PERPENDICULARES

Con este nuevo dato recalculamos la eslora entre perpendiculares con la recta de regresión anterior (Lbp - B), obteniendo:

$$x = (y - 4.953) / 0.163 = 79,43 \text{ m}$$

3.2.3. ESLORA TOTAL

Puede estimarse una nueva eslora total, acorde con la nueva eslora entre perpendiculares mediante una recta de regresión entre ambos parámetros:

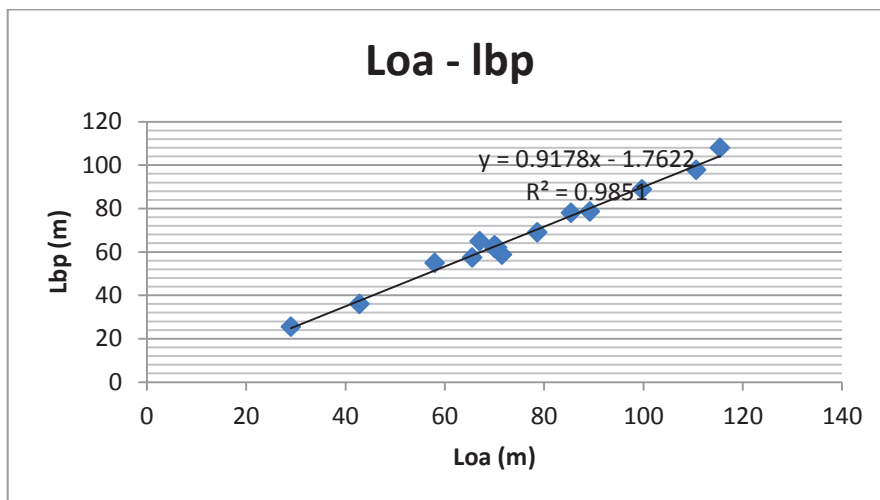


Figura 8: Recta de regresión (Loa - Lbp)

Lo que nos da, para una dispersión coherente:

$$x = (y + 1.7622) / 0.9178 = 88,46 \text{ m}$$



Las dimensiones principales estimadas inicialmente por regresiones estadísticas quedan resumidas en la siguiente tabla:

Dimension	Valor (m)
Loa	88.46
Lbp	79.43
B	17.9
T	7.2
D	8.86

Tabla 1. Dimensiones principales

3.2.4. RELACIONES ADIMENSIONALES

Los valores de las relaciones adimensionales del proyecto:

Loa/B	Lpp/B	B/T	T/D
4.755	4.335	2.484	0.813

Tabla 2. Relaciones adimensionales

Entran dentro de los valores esperados, y evidentemente están entre las cifras que tienen los buques de la base de datos.



3.3. COEFICIENTES DE FORMA

Una vez definidas las dimensiones principales del buque se procede al cálculo de los coeficientes de formas del mismo.

3.3.1. COEFICIENTE DE BLOQUE

El primer coeficiente a calcular, dado que disponemos de todos los datos será el coeficiente de bloque, consistente en la división del desplazamiento volumétrico por el paralelepípedo que lo contiene, el cual está formado por la eslora (tomamos la eslora entre perpendiculares a falta de la eslora en la flotación para esta primera aproximación), la manga y el calado:

$$C_B = \frac{\Delta}{\rho \cdot L \cdot B \cdot T} = \frac{7000}{1,025 \cdot 79,43 \cdot 17,9 \cdot 7,2} = 0,667$$

Este coeficiente, si bien se encuentra entre los estándares de otros buques de formas similares a priori, posiblemente se vea reducido a lo largo de la definición de las formas en el cuaderno 3, debido al elevado calado de diseño del proyecto, el cual se ha definido como el calado máximo de proyecto a fin de poder asegurar un rendimiento óptimo a dicha situación, lo que significa que a calados algo menores no debería dar problemas mayores.

3.3.2. COEFICIENTE DE LA MAESTRA

El coeficiente de la maestra relaciona el valor del área máxima de la cuaderna maestra entre el rectángulo que la contiene, de dimensiones manga x calado.

Existen diversas formas de calcular el coeficiente de la maestra, normalmente en función del coeficiente de bloque, o a la velocidad del buque mediante el número de Froude.

· Método propuesto por Kerlen

$$C_M = 1.006 - 0,0056 \cdot C_B^{-3,56}$$

- Método propuesto por el HSVA

$$C_M = \frac{1}{1 + (1 - C_B)^{3,5}}$$

- Método propuesto por Meizoso

$$C_M = 1 - 0,062 \cdot F_N^{0.792}$$

- Método propuesto por Jensen

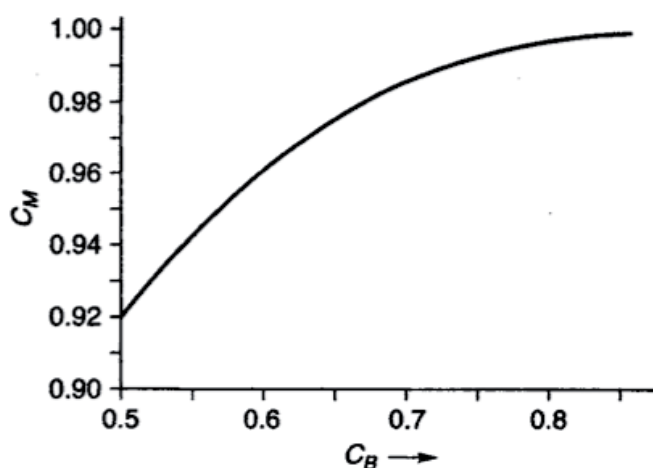


Figure 1.19 Recommended midship area coefficient C_M (Jensen, 1994)

Figura 9: C_m en función de C_b , Jensen 1994

Cuyo resultado se obtiene gráficamente para nuestro valor de C_b .

Los resultados del coeficiente de la maestra para los cuatro métodos vienen recogidos en la siguiente tabla, así como el valor medio, que será el que se tome para el proyecto:

Cm	
Kerlen	0.9823
HSVA	0.9792
Meizoso	0.9776
Jensen	0.9780
Cm (media)	0.979

Tabla 3. Valores de C_m para diferentes métodos



3.3.3. COEFICIENTE PRISMÁTICO

El cálculo de este coeficiente, correspondiente al cociente del volumen de la carena partido por el volumen que ocupa la extrusión de la cuaderna maestra a lo largo de toda la eslora, es fácil de calcular mediante una relación con los anteriores coeficientes de bloque y de la maestra:

$$C_B = \frac{\Delta}{\rho \cdot L \cdot B \cdot T} \Rightarrow \frac{\Delta}{\rho \cdot L} = C_B \cdot B \cdot T$$

$$C_M = \frac{A_M}{B \cdot T} \Rightarrow A_M = C_M \cdot B \cdot T$$

Y reescribiendo en forma de expresión matemática lo anteriormente expuesto respecto del coeficiente prismático tendremos:

$$C_P = \frac{\Delta}{\rho \cdot L \cdot A_M}$$

Ahora resulta sencillo llegar a:

$$C_P = \frac{\Delta}{\rho \cdot L} \cdot \frac{1}{A_M} = C_B \cdot B \cdot T \cdot \frac{1}{C_M \cdot B \cdot T} = \frac{C_B}{C_M}$$

Luego el cociente del coeficiente de bloque por el de la maestra nos dará el resultado del coeficiente prismático.

$$C_P = \frac{C_B}{C_M} = \frac{0,667}{0,979} = 0,681$$

3.3.4. COEFICIENTE DE LA FLOTACIÓN

Aunque están escritas diversas fórmulas para el cálculo del coeficiente de flotación aproximado, voy a emplear la propuesta por J. Torroja que tiene en cuenta la forma en U o en V de las cuadernas mediante un parámetro G que varía de 0 (cuadernas más en U) a 1 (cuadernas más en V).

La expresión general es:

$$C_{WP} = A + B \cdot C_B$$



Donde los parámetros A y B vienen dados por:

$$A = 0,248 + 0,049 \cdot G$$

$$B = 0,778 - 0,035 \cdot G$$

Tomando el valor G de aproximadamente 0,8, ya que las cuadernas en proa se van a diseñar en principio en V para reducir la resistencia al avance y tenderán a formas más abiertas en U en el cuerpo de popa, homogeneizando el flujo y ofreciendo un mayor volumen interior del buque sin perjudicar al avance de este en exceso.

Los valores obtenidos son:

$$A = 0,248 + 0,049 \cdot 0,8 = 0,2872$$

$$B = 0,778 - 0,035 \cdot 0,8 = 0,75$$

$$C_{WP} = A + B \cdot C_B = 0,2872 + 0,75 \cdot 0,667 = 0,787$$



4. POSICIÓN LONGITUDINAL DEL CENTRO DE CARENA

Se puede estimar en este primitivo punto del proyecto, la posición longitudinal aproximada del centro de carena mediante la expresión siguiente:

$$X_B = \frac{(17,5 \cdot C_P - 15,5) \cdot L_{BP}}{100}$$

Este valor resultante nos dará un valor porcentual respecto de la cuaderna maestra, y en nuestro caso resulta:

$$X_B = \frac{(17,5 \cdot 0,681 - 15,5) \cdot 79,5}{100} = -2,84\%$$

Luego, si lo referimos a la perpendicular de popa tendremos que el centro longitudinal de carena se encuentra a $X_b=47,16\%$ de la eslora entre perpendiculares, es decir a 37,49 m respecto de la perpendicular de popa.



5. CÁLCULO DE FRANCOBORDO

El francobordo del buque se define en la ILLC (International Load Lines Convention) de 1996 como la distancia medida verticalmente en el centro del buque, desde la intersección de la cara superior de la cubierta de francobordo con la superficie exterior del forro, hasta la línea de carga correspondiente.

Este volumen interior del casco sobre la línea de flotación nos da un margen de seguridad, aumentando la reserva de flotabilidad del buque.

Esta primera estimación del francobordo se hará mediante una simplificación de la normativa expuesta en la ILLC, que puede encontrarse en el capítulo 3.2 de la referencia [1]

5.1. ESLORA DE FRANCOBORDO

Lo primero que hay que hacer es definir la eslora de francobordo LFB, que queda determinada por el mayor de los siguientes valores, medidos en la flotación al 85% del puntal de trazado que en nuestro caso se ha estimado en 7,9 m:

- 96% de la eslora total a dicha altura.
- Eslora desde el extremo de la roda hasta el eje de la mecha del timón.

Sin embargo, en esta fase del proyecto aún no disponemos de las formas del buque por lo que tomaremos como estimación inicial:

$$L_{FB} = L_{BP} = 79,5 \text{ m}$$

5.2. ESTIMACIÓN EN FUNCIÓN DE CALADO Y PUNTAL

El francobordo por definición podría estimarse como la diferencia entre el puntal D anteriormente estimado y el calado máximo de diseño.

$$FB = D - T = 8,86 - 7,2 = 1,66 \text{ m}$$

Este valor se ha realizado mediante un puntal estimado en pasos previos a partir de buques de similares características, y si bien es orientativo debe revisarse, para lo cual se van a emplear las normativas de la ILLC.



5.3. ESTIMACIÓN POR NORMATIVA ILLC

En este cálculo simplificado se supone que los buques tienen características de valores normales, y no se consideran los casos poco usuales. Por ejemplo, la altura de las superestructuras se considera que es igual o mayor que la altura estándar que define el Convenio 1966, y todas las superestructuras se suponen cerradas en sus extremos.

5.3.1. FRANCOBORDO TABULAR

Lo primero a definir es el tipo de buque, que a efectos de francobordo se clasifican en dos tipos fundamentales:

- Tipo A: Es el buque proyectado para transportar únicamente cargas líquidas a granel, tiene una alta integridad de la cubierta expuesta a la intemperie, y una gran resistencia a la inundación, debido a su alto grado de subdivisión.

- Tipo B: Es todo buque que no cumple las condiciones requeridas al Tipo A

Luego el caso que nos atañe es evidentemente un buque tipo B.

La ILLC ofrece una tabla que relaciona directamente la eslora de francobordo con el francobordo tabular, conque entramos con nuestra eslora estimada es de 79,5 m e interpolamos entre dos valores de la misma, obteniendo:

FBT=834,5 mm

Sobre este francobordo tabular se aplicarán una serie de correcciones debidas a las formas y características del buque.

5.3.2. CORRECCIÓN POR ESLORA MENOR DE 100 METROS

Se aplica sólo a los buques Tipo B de menos de 100 m. de eslora, y cuya longitud de superestructuras E sea menor del 35% de la eslora, y su expresión viene dada por:

$$C1 = 7,5 \cdot (100 - L) \cdot \left(0,35 - \frac{E}{L}\right) mm$$

En nuestro caso, aunque es un buque tipo B de menos de 100 metros de eslora, y en base a lo



visto en buques de similares características tendremos una longitud de superestructuras superior al 35% de la eslora, por lo que tomaremos esta corrección como nula.

$$C1=0$$

5.3.3. CORRECCIÓN POR COEFICIENTE DE BLOQUE

Esta corrección se aplica cuando el coeficiente de bloque es superior a 0,68, y su expresión tiene en cuenta el C_B 85% del puntal, que en esta fase preliminar se estima como $C_B 85D = 1,01 \cdot C_B$

$$C2 = \frac{C_B 85D + 0,68}{1,36} \text{ (mm)}$$

El C_B estimado en nuestro caso es 0,67, un valor evidentemente inferior, amén de que se prevé que este valor disminuya aún más en fases posteriores de diseño debido al alto calado, ya que el estudio estadístico para el C_B se ha realizado con respecto del desplazamiento, de haberse realizado con el calado sería bastante menor. Luego este valor se tomará también para que no afecte al resultado final, en este caso como va multiplicando se tomará como valor unitario.

$$C2=1$$

5.3.4. CORRECCIÓN POR PUNTAL

Si el puntal es mayor que $L/15$ se aplicará la siguiente corrección:

$$C3 = \left(D - \frac{L}{15} \right) \cdot R \text{ (mm)}$$

Donde el valor de R dependerá de la eslora:

$$R = \frac{L}{0,48} \text{ si } L < 120 \text{ m}$$

$$R = 250 \text{ si } L > 120 \text{ m}$$

En nuestro buque $L/15=5,3$ m valor inferior al del puntal que se ha estimado en 8,86 m, por lo que esta corrección sí que se aplicará, y su valor será:



$$R = \frac{79,5}{0,48} = 165,625$$

$$C3 = \left(8,86 - \frac{79,5}{15}\right) \cdot 165,625 = 589,625 \text{ (mm)}$$

5.3.5. CORRECCIÓN POR SUPERESTRUCTURAS

En esta fase previa de diseño es difícil estimar esta corrección, puesto que aún no se han definido las superestructuras, sin embargo va a considerarse, de acuerdo con los contemplado en buque similares una longitud de superestructuras de al menos un 50% de la eslora.

Para el cálculo de esta corrección primero hay que interpolar en la tabla siguiente para estimar el valor de la corrección si la superestructura ocupase toda la eslora:

Eslora del buque (m)	Corrección De (mm)
24	350
85	860
122 y más	1070

Tabla 4. Corrección de FB por superestructuras 1

Sobre este valor interpolado a 79,5 m, que resulta De = 822,4 mm; habrá que aplicarle un porcentaje de acuerdo a la tabla que se encuentra bajo estas líneas, según la longitud de la superestructura sobre la eslora, que se ha estimado en E/L=50%

E/L	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Tipo A	0	7	14	21	31	41	52	63	75,3	87,7	100
Tipo B	0	5	10	15	23,5	32	46	63	75,3	87,7	100

Tabla 5. Corrección de FB por superestructuras 2



A este porcentaje que va a deducirse sobre la corrección hay que aplicarle además una pequeña reducción si la longitud del castillo de proa es menor de un 7% de la eslora entre perpendiculares. Como no se conoce este dato en esta fase del proyecto, se estimará en un 5% de la Lbp, a este valor se le llama f y valdrá 3,975 m, y la expresión que nos ayuda a calcular este valor es:

$$5 \cdot \frac{0,07 \cdot L - f}{0,07 \cdot L} = 5 \cdot \frac{0,07 \cdot 79,5 - 3,975}{0,07 \cdot 79,5} = 1,43$$

Esta corrección pues, será:

$$Por = 32 - 1,43 = 30,57$$

$$C4 = De \cdot \frac{Por}{100} = 822,4 \cdot \frac{30,57}{100} = 251,41 \text{ (mm)}$$

5.3.6. CORRECCIÓN POR ARRUFO

En esta fase temprana de proyecto el arrufo no está definido, conque se tomará un porcentaje de área de la curva real de arrufo respecto al área de la curva estándar próximo al 0%, valor definido por la letra A en la ecuación que define esta corrección. Se toma un valor próximo a cero ya que normalmente se evita diseñar la cubierta con mucho arrufo salvo prioridades de diseño, a fin de abaratar costes y simplificar la construcción del buque.

Se tomará un valor para A de 5 para calcular la corrección por arrufo.

$$C5 = \left(1 - \frac{A}{100}\right) \cdot (4,168 \cdot L + 125) \cdot \left(0,75 - \frac{E}{2 \cdot L}\right) \text{ mm}$$

$$C5 = \left(1 - \frac{5}{100}\right) \cdot (4,168 \cdot 79,5 + 125) \cdot \left(0,75 - \frac{39,75}{2 \cdot 79,5}\right) = 216,77 \text{ mm}$$



5.3.7. FRANCOBORDO TOTAL DE VERANO

Una vez calculado el francobordo tabular y todas sus correcciones puede estimarse el francobordo total de verano con la expresión siguiente:

$$FB = (FBT + C1) \cdot C2 + C3 - C4 + C5$$

$$FB = (834,5 + 0) \cdot 1 + 589,625 - 251,41 + 216,77 = 1389,49 \text{ mm}$$

Como es una primera estimación, y a modo preventivo se va a añadir un pequeño margen de seguridad de un 8% al francobordo estimado mediante tablas y fórmulas, lo que significa:

$$FB_{\text{margen}} = FB \cdot 1.08 = 1500 \text{ mm}$$

Luego el puntal a la cubierta de francobordo al calado 7,2 m será, teniendo en cuenta además un espesor de cubierta estimado en 30 mm:

$$D_{FB} = T + FB_{\text{margen}} + e = 7,2 + 1,5 + 0,3 = 8,8 \text{ m}$$

Que se encuentra, incluso con este margen de seguridad por debajo del puntal de la cubierta principal estimado anteriormente en 8,86 m, luego sería en principio un puntal válido, aunque aún puede sufrir variaciones debido a las necesidades en la disposición general que se estudiará en el cuaderno 4.



6. ALTURA MÍNIMA EN PROA

La normativa de la ILLC, en su regla 39 exige que la distancia vertical desde la cubierta expuesta hasta la flotación en carga correspondiente al francobordo de verano, medida en la perpendicular de proa, para esloras inferiores a 250 m (como es nuestro caso), no sea menor de:

$$H_{\min proa} = 56 \cdot L \cdot \left(1 - \frac{L}{500}\right) \cdot \frac{1,36}{CB + 0,86} \text{ mm}$$

Que resulta:

$$H_{\min proa} = 56 \cdot 79,5 \cdot \left(1 - \frac{79,5}{500}\right) \cdot \frac{1,36}{0,67 + 0,86} = 3328,12 \text{ mm}$$

Si esta altura se consigue por medio de arrufo en la cubierta, éste se extenderá al menos hasta el 15% de la eslora a partir de la perpendicular de proa. Si se consigue por medio de un castillo, éste tendrá al menos una longitud igual al 7% de la eslora.

Tanto un aumento de arrufo como un aumento del castillo (estimado previamente en un 5% de la eslora) tendrán el mismo efecto sobre el francobordo, causarán una disminución en su resultado.

Estos cálculos, así como la nueva estimación del francobordo se realizarán nuevamente en el cuaderno 5, cuando se tengan las formas y disposición general finales del proyecto realizadas.



7. PESOS DEL BUQUE

El peso del buque se puede dividir en dos grandes bloques:

- peso en rosca, que a su vez se puede subdividir en peso de la estructura, de la maquinaria y del equipo y habilitación.
- Peso muerto, que abarca todo lo demás (personal, consumos, etc.)

Hay que tener en cuenta que la estimación del peso total del buque a partir de sus dimensiones es meramente orientativo dada su complejidad, y estos valores que se calculen en el presente cuaderno si bien servirán para hacerse una idea general no tienen que parecerse obligatoriamente al resultado final del proyecto.

7.1. PESO EN ROSCA

Existen diversos métodos y fórmulas para estimar el peso en rosca inicial del buque, que como ya se ha indicado se divide en tres subgrupos:

- Peso estructural
- Peso maquinaria
- Peso equipo y habilitación

7.1.1. APROXIMACIÓN ESTADÍSTICA DEL PESO EN ROSCA

Una primera aproximación al peso en rosca se calcula mediante rectas de regresión estadística a partir de la base de datos (en función del desplazamiento total) de lo que se obtiene:

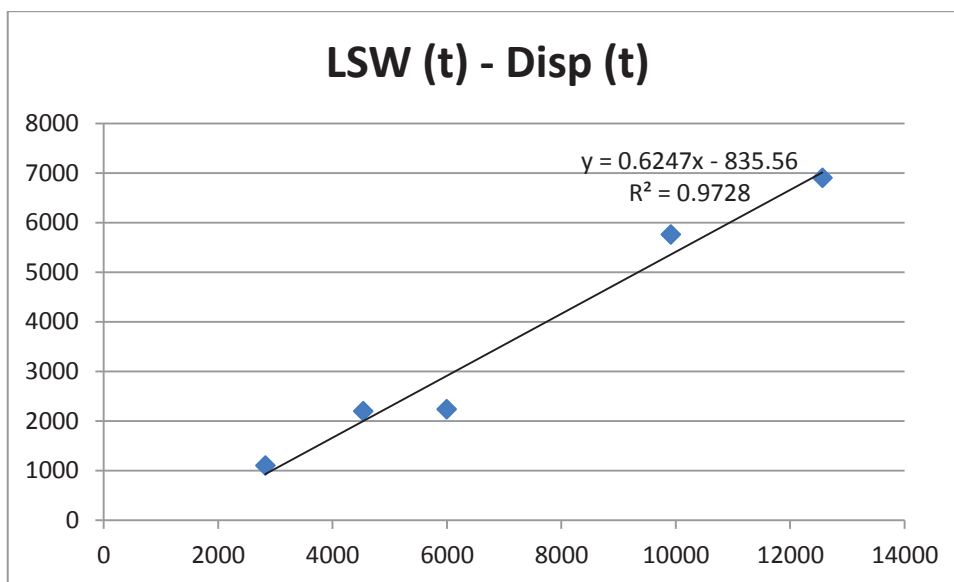


Figura 10: Recta de regresión (LSW - Disp)

Cuyo valor para un desplazamiento de 7000 t sería

$$y = 0,6247x - 835,56 = 3537,34 \text{ t}$$

Es decir un peso en rosca de:

$$P_{rosca} = 3537,3 \text{ t}$$

Vamos a comparar este resultado con el calculado mediante fórmulas y tablas.



7.1.2. APROXIMACIÓN EN FUNCIÓN DE LAS DIMENSIONES

Una sencilla aproximación al peso en rosca se realiza a partir del valor producto de la eslora, la manga y el puntal, multiplicando este por un factor determinado para cada conjunto del peso en rosca del proyecto del buque.

El valor $L \cdot B \cdot D$ se obtiene directamente de la siguiente operación:

$$L \cdot B \cdot D = 79,5 \cdot 17,9 \cdot 8,86 = 12608,22 \text{ m}^3$$

a) Peso de la estructura

$$P_e = L \cdot B \cdot D \cdot 100 = 12608,22 \cdot 100 = 1260820 \text{ kg} = 1260,8 \text{ t}$$

b) Peso de la maquinaria

$$P_m = L \cdot B \cdot D \cdot 95 = 12608,22 \cdot 100 = 1197781 \text{ kg} = 1197,8 \text{ t}$$

c) Peso de equipos y habilitación

$$P_s = L \cdot B \cdot D \cdot 85 = 12608,22 \cdot 100 = 1071699 \text{ kg} = 1071,7 \text{ t}$$

d) Peso en rosca total (dimensiones)

$$P_{rosca} = P_e + P_m + P_s = 1260,8 + 1197,8 + 1071,7 = 3530,3 \text{ t}$$



7.1.3. APROXIMACIÓN POR FÓRMULAS

Como en el método anterior, dividimos el peso en rosca en tres grupos diferentes, pero en este caso se va a considerar el buque como un supply, pues como se ha indicado con anterioridad, las formas de los buques oceanográficos y de apoyo a plataformas tienen un grado de semejanza elevado.

a) Peso de la estructura

Este método, postulado por Sv. Aa. Harvald y J. Juncher en la referencia [2], puede emplearse para el cálculo del peso estructural en diversos tipos de buques, como los de suministro.

La expresión que indica este método para calcular el peso de la estructura es:

$$P_e = C_s \cdot (Lbp \cdot B \cdot D + Sup)$$

Donde el factor C_s es un coeficiente cuyo resultado se obtiene de:

$$C_s = C_{s0} + 0,064 \cdot e^a = 0,0974 + 0,064 \cdot e^{-1,371} = 0,1136$$

Siendo

$$a = -0,5 \cdot u - 0,1 \cdot u^{2,45} = -0,5 \cdot 1,845 - 0,1 \cdot 1,845^{2,45} = -1,371$$

$$u = \log_{10} \left(\frac{\Delta}{100} \right) = \log_{10} \left(\frac{7000}{100} \right) = 1,845$$

Y C_{s0} se calcula a partir de la tabla dada, suponiendo nuestro buque como buque de suministro, tendríamos un $C_{s0}=0,0974$:



Tipo		Cso
Granelero		0,0700
Petrolero VLCC		0,0645
Petrolero		0,0752
P. Productos		0,0664
Carga general de 1 Cta.		0,0700
id	2 Ctas.	0,0760
id	3 Ctas.	0,0820
Frigoríficos		0,0609
Remolcadores		0,0892
Buques de suministro		0,0974

Tabla 6. Valores de Cso según tipo de buque

Finalmente, el valor de Sup , se refiere al volumen en m^3 de las superestructuras y casetas, que al no conocerse en esta temprana fase del proyecto se pueden estimar con la manga y es eslora entre perpendiculares a través de la expresión que sigue:

$$Sup = 0,8 \cdot B \cdot (1,45 \cdot Lbp - 11) = 0,8 \cdot 17,9 \cdot (1,45 \cdot 79,5 - 11) = 1493,22$$

Lo que nos permite calcular finalmente el peso de la estructura con la fórmula inicial.

$$P_e = 0,1136 \cdot (79,5 \cdot 17,9 \cdot 8,86 + 1493,22) = 1601,92 \text{ t}$$

b) Peso de la maquinaria

Debido a que aún no se conocen los valores de la potencia ni de los motores instalados en el buque, se tomará como peso de la maquinaria el calculado en función de las dimensiones en el apartado previo:

$$P_m = 1197,8 \text{ t}$$

c) Peso de equipos y habilitación

Para buques de suministro se usa la formulación encontrada en la referencia [3].

$$P_s = 0,045 \cdot L \cdot B \cdot D = 0,045 \cdot 12608,22 = 1071699 \text{ kg} = 567,37 \text{ t}$$



d) Peso en rosca total (fórmulas)

$$P_{rosca} = P_e + P_m + P_s = 1601,9 + 1197,8 + 567,4 = 3367,1 \text{ t}$$

7.1.4. COMPARACIÓN PESOS

Los valores obtenidos para los tres métodos se exponen en la siguiente tabla, incluyendo los pesos muertos, obtenidos de la deducción del peso en rosca al desplazamiento de 7000 t:

Método	Peso rosca (t)	Peso muerto (t)
R. regresión	3537.3	3462.7
Dimensiones	3530.3	3469.7
Fórmulas	3367.1	3632.9

Tabla 7. Comparativa de pesos

Como se puede observar, las diferencias son mínimas, tanto que entre los dos primeros valores la diferencia es del orden de 0,2% y de menos de un 5% con el tercero, pero dado que el tercer valor se ha estimado mediante fórmulas genéricas, que dependen del tipo de buque y resultan algo más arbitrarias y de difícil aplicación a un buque oceanográfico se va a tomar como válida una de las primeras, que además resultan casi iguales.

Se elegirá la obtenida mediante rectas de regresión de acuerdo con otros buques oceanográficos.



8. CENTRO DE GRAVEDAD DEL PESO EN ROSCA

Para poder realizar una correcta estimación de la posición del centro de gravedad del peso en rosca del buque se necesitaría conocer la posición y centro de gravedad detallado de los elementos que componen el buque, sin embargo como primera aproximación se pueden emplear los métodos que se exponen a continuación.

8.1. POSICIÓN VERTICAL DEL CENTRO DE GRAVEDAD

8.1.1. ALTURA DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE LA ESTRUCTURA

De acuerdo con lo escrito en la referencia [4], la posición vertical del centro de gravedad en porcentaje del puntal, se estima según:

$$KG_e(\%D) = \left(48 + 0,15 \cdot (0,85 - CBD) \cdot \frac{Lbp^2}{D^2} \right) \cdot \frac{DA}{D} m$$

Donde CBD, es el coeficiente de bloque al puntal D, que se va a estimar en un 5% más que dicho coeficiente al calado de 7,2 m.

$$CBD = 1,05 \cdot 0,67 = 0,7$$

DA es el puntal medio en metros con correcciones; dichas correcciones son debidas a superestructuras, bulbo de proa y relación Lbp/B.

En nuestro caso, aunque aún no se ha definido la existencia o no del bulbo de proa, es más probable su ausencia ya que a pesar de reducir la resistencia al avance puede generar ruidos y vibraciones, algo especialmente indeseable en un buque de investigación oceanográfico.

Respecto a las superestructuras y casetas, se añadirá un margen a DA del 7% debido a la influencia en el aumento de KG del peso total que puedan ocasionar, ya que aún no están definidas, y se considera éste un valor lógico.



Finalmente, la corrección por Lbp/B se aplica si este valor es diferente de 6,5 y en nuestro caso es Lbp/B=4,44. La corrección a aplicar a DA es +0,8%D por cada unidad de diferencia entre 6,5 y 4,44, es decir:

$$\Delta\left(\frac{Lbp}{B}\right) = 6,5 - 4,44 \approx 2$$

Luego la corrección será de:

$$1,6\%D = 0,1418 \text{ m}$$

Y entonces:

$$DA = D + 0,07 \cdot D + 0,016 \cdot D = 1,086 \cdot D = 1,086 \cdot 8,86 = 9,622$$

Así pues, entrando con estos valores en la expresión inicial:

$$KG_e(\%D) = \left(48 + 0,15 \cdot (0,85 - 0,7) \cdot \frac{79,5^2}{8,86^2} \right) \cdot \frac{9,622}{8,86} = 54,1 \%$$

Como se ha escrito previamente este valor está dado en porcentaje del puntal, luego:

$$KG_e = KG_e(\%D) \cdot D = 0,541 \cdot 8,86 = 4,79 \text{ m}$$

8.1.2. ALTURA DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE LOS EQUIPOS Y HABILITACIÓN

De la ref. 6 del PBBM se obtiene, que para buques con esloras inferiores a 125 m, el KG de los equipos y habilitación puede estimarse a partir de:

$$KG_e = D + 1,25 = 8,86 + 1,25 = 10,11 \text{ m}$$



Este valor es tan elevado puesto que los equipos y habilitación, suelen encontrarse en las superestructuras.

8.1.3. ALTURA DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE LA MAQUINARIA

En la ref. 6 del PBBM se ofrece la siguiente solución para situar el centro de gravedad de la maquinaria:

$$KG_e = 0,17 \cdot T + 0,36 \cdot D = 0,17 \cdot 7,2 + 0,36 \cdot 8,86 = 4,41 \text{ m}$$

Este valor, seguramente se vea incrementado a lo largo del desarrollo del proyecto, puesto que con una propulsión diésel-eléctrica la disposición de la cámara de máquinas no está tan condicionada como en una propulsión diésel convencional.

8.2. POSICIÓN LONGITUDINAL DEL CENTRO DE GRAVEDAD

En este caso, y de acuerdo nuevamente a lo indicado en la referencia [4], se va a considerar una posición longitudinal del centro de gravedad del peso en rosca del buque como el punto medio entre la perpendicular de proa y el extremo de popa de la cubierta superior. Dicho extremo de popa se estimará en 4 metros más a popa de la perpendicular de esta sección, luego:

$$XG = \frac{Lbp + 4}{2} = \frac{79,5 + 4}{2} = 41,75 \text{ m}$$

8.3. POSICIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD (PESO EN ROSCA)

Teniendo los datos de pesos y posición de los centros de gravedad se calcula de forma sencilla la posición estimada del centro de gravedad del buque, como se muestra en la expresión que



sigue estas líneas.

$$KG = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot KG_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

La única estimación sobre el peso se ha realizado mediante fórmulas limitadas a determinados tipos de buques mercantes. Pero estos difieren grandemente de un buque oceanográfico donde por un lado, el apartado equipos y habilitación es muy superior de lo que sería, por ejemplo en un buque carguero de línea regular, y por otro lado, la maquinaria menor.

Por tanto, como no se conocen a estas alturas el peso concreto de cada partida, se van a tomar, de acuerdo a la experiencia observada en buques de diversa índole los siguientes porcentajes del peso total:

- 50% estructura
- 10% maquinaria
- 40% equipos y habilitación

Los resultados obtenidos quedan resumidos en la siguiente tabla:

KG del peso en rosca			
Conjunto	Peso (t)	KG (m)	Momento (t·m)
Estructura	1768.65	4.79	8471.83
Eq. y hab.	1414.92	10.11	14304.84
Maquinaria	353.73	4.41	1559.95
Total	3537.30	6.88	24336.62

Tabla 8. Cálculo de KG total del peso en rosca

$$XG = 41,75 \text{ m}$$

$$KG = 6,88 \text{ m}$$



9. ESTABILIDAD INICIAL

Uno de los aspectos más importantes en el diseño de un buque es que este cumpla los criterios de estabilidad estipulados, ya que de otra manera deberían revisarse los cálculos previamente realizados, a fin de converger a unos valores que puedan garantizarle desde el principio una estabilidad mínima de seguridad.

El valor más importante para estudiar la estabilidad inicial del buque es la altura metacéntrica GM, la cual se puede calcular mediante la deducción del KG previamente calculado al valor KM, dicho valor se estimará mediante la fórmula de *Schneekluth* descrita en la referencia [4]. Este método puede ser orientativo pero no determinante, pues está formulado para buques de carga, que no es nuestro caso.

$$KM = B \cdot \left(C \cdot \frac{0,08 \cdot B}{\sqrt{C_M} \cdot TS} + \frac{0,9 - 0,3 \cdot C_M - 0,1 \cdot C_B}{\frac{B}{TS}} \right) m$$

El coeficiente C se define como:

$$C = \frac{CWP}{CWN} = \frac{0,77}{0,785} = 1,003$$

Siendo

$$CWN = \frac{1}{3} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot C_B}{\sqrt{C_M}} \right) = \frac{1}{3} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 0,67}{\sqrt{0,979}} \right) = 0,785$$

Y TS el calado a la situación de carga, que en este caso coincide con el calado de diseño T=7,2 m.

Entonces obtendremos un valor de KM:

$$KM = 17,9 \cdot \left(1,003 \cdot \frac{0,08 \cdot 17,9}{\sqrt{0,979} \cdot 7,2} + \frac{0,9 - 0,3 \cdot 0,979 - 0,1 \cdot 0,67}{\frac{79,5}{7,2}} \right) = 7,5 m$$

Luego el GMt inicial será:

$$GMt = KMt - KG = 7,5 - 6,88 = 0,62 m$$

Valor que si bien puede resultar algo bajo, sería conveniente incrementar en fases posteriores de diseño esta altura metacéntrica, mediante un aumento de la altura metacéntrica y/o una disminución de la altura del centro de gravedad, a fin de asegurar la estabilidad transversal del buque.



10. CONCLUSIONES

A lo largo de este cuaderno se han podido definir las diferentes dimensiones del buque así como sus formas, a través de los coeficientes que las indican.

Asimismo se ha realizado un estudio también de diversos parámetros importantes del buque como puede ser el francobordo, el peso y su centro de gravedad o la estabilidad inicial del buque.

Todo esto nos sirve como base para el cuaderno 3, en el que se definirán las formas, pues ya conocemos los órdenes de magnitud con que trabajaremos así como los valores que hay que corregir durante la definición de dichas formas para evitar problemas futuros.

Sirva a modo de resumen la tabla que adjunto con los valores obtenidos a lo largo de este estudio preliminar.

Valores iniciales		
Parámetro	Valor	Unidades
Loa	88.46	m
Lbp	79.5	m
B	17.9	m
T	7.2	m
D	8.86	m
Cb	0.67	-
Cm	0.979	-
Cp	0.681	-
Cwp	0.787	-
FB min	1.5	m
LSW	3537.3	t
XG LSW	41.75	m
KG LSW	6.88	m
GMt	0.62	m

Tabla 9. Resumen valores iniciales obtenidos



11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MEIZOSO FERNÁNDEZ, MANUEL; ALVARIÑO CASTRO, RICARDO; AZPÍROZ AZPÍROZ, JUAN JOSÉ. *“El Proyecto Básico del Buque Mercante”*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval, 1997
- [2] HARVALD, Sv. Aa; JUNCHER JENSEN, J. *“Steel weight estimation for ships”*. The Technical University of Denmark. Dept. of Ocean Engineering.
- [3] AZPÍROZ, JUAN JOSÉ. *«Buques de suministro a plataformas de perforación»*. Ingeniería Naval, octubre 1975.
- [4] SCHNEEKLUTH, H. *«Ship design for efficiency and economy»*. Butterworth & CO. 1987
- [5] *“International Conference in Load Lines, 2005 Consolidated Edition”*, International Maritime Organization.
- [6] *“Significant Ships”*, International Maritime 2004-2012
- [7] *“Significant Small Ships”*, International Maritime 2005-2011
- [8] <http://www.sea-web.com/>
- [9] <http://www.researchvessels.org/>



12. ANEXO 1: BASE DE DATOS

Type	Name	Year	Loa (m)	Lbp (m)	B (m)	T (m)	D (m)	Loa/B	Lpp/B	B/T	FB	Disp. (t)	LSW (t)	DW (t)	GT	Speed (knts)	FCO daily	Autonomy (mn)	Main engine pow (kW)	Pow tot (kW)	Prop. Diameter (m)	RPM	Bow t. tunnel (kW)	Bow T. azim. (kW)	Stern T. 1 (kW)	Stern T. 2 (kW)	Alternator (kVA)	Generator (kW)
Oc	James Cook	2006	89,2	78,6	18,6	6,3	6,7	4,796	4,226	2,952	0,4				5400	12			2 x 1770	3540	3,6	180	1200	1350	800	600		
Oc	Polar King	2011	110,6	97,8	20	7,3	9,8	5,530	4,890	2,740	2,5	9912,9	5761,1	4151,8	7238	14	28 t	15480	6 x 1800	10800	3,6		2 x 1350	1500			6 x 2162	
Oc	Miguel Oliver	2007	70	63	14,4	4,8	5,8	4,861	4,375	3,000	1			670	2480				2 x 1000	2000	2,85						4 x 1000	4 x 850
Oc	Ramón Margalef	2011	46,7		10,5	4		4,448		2,625				230	988	13			2 x 900	1800	2,3	230	90		160		55	204
Oc	Emma Bardán	2006	29	25,5	7,5	2,6	3,7	3,867	3,400	2,885	1,1				200	12		4600	1 x 671	671	1,686	300			30		230	201
Oc	Sarmiento de Gamboa	2006	70,5	62	15,5	4,9	5	4,548	4,000	3,163	0,1				2630	14			2 x 1200	2400			590		350			3x1440
Oc	NC-704	2013	99,7	88,8	18	6,5	7,4	5,539	4,933	2,769	0,9				5952	15			2 x 2200	4800			1700	1350				4 x 1520
Oc	Janan RV	2010	42,8	36	10	3,3	3,9	4,280	3,600	3,030	0,6					14			2 x 1600		2,3		250		200			
Oc	G.O. Sars	2003	77,5		16,4	7,5	12,5	4,726		2,187	5			1308	4067				3 x 2700	8100	4,2	160						
Oc	Celtic Explorer	2002	65,5	57,4	15	5,8	8,11	4,367	3,827	2,586	2,31				2425	max 16			2 x 1620 + 1080	4320			700		400			
Oc	Marcus G. Langseth	2006	71,5	58,7	17	5,9		4,206	3,453	2,881			2528		2925	12		13500	2 x 2650	5300								
DSV	Gulmar Atlanits	2011	115,4	107,95	22	7,03	9	5,245	4,907	3,129	1,97	12565	6903	5661	9195	14												
Geo	Geograph	2007	70	61,8	14,6	5,8		4,795	4,233	2,517					2600	13			2 x 3460	6920			883	900	2 x ?			2 x 65
PSV	PSV series	2007	57,95	54,9	14	4,91	5,5	4,139	3,921	2,851	0,59	2824	1104	1706	1600	10,5	85 gph	14000	2 x 1235	2470	1,7018		2 x 560					
PSV	Ark Tori	2008	67	64,9	16	6	7	4,188	4,056	2,667	1	4535	2200	2335	2200	10	24 m³		2 x 4000	8000	3,8	146	2 x 600		2 x 600			
PSV	Adam Challenge	2009	85,4	78	18	5,5	8	4,744	4,333	3,273	2,5				4098	13			4 x 2600	5600								
PSV	Stril Mariner	2009	78,6	69	17,6	6,49	7,7	4,466	3,920	2,712	1,21	5994	2239	3775	3117	14			4 x 1291	2582	2,7							



PROYECTO Nº 252

BUQUE OCEANOGRÁFICO

DE 7.000 T

Cuaderno 3

Formas

TUTOR: ELOY J. CARRILLO HONTORIA

ALUMNO: ALEJANDRO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	CONSIDERACIONES PREVIAS	6
2.1.	DIMENSIONES PREVIAS	6
2.2.	BULBO DE PROA.....	6
2.3.	CUERPO DE PROA	7
2.4.	CUERPO DE POPA	10
3.	FORMAS	11
3.1.	GENERACION DE FORMAS.....	11
3.2.	CURVA DE AREAS	14
3.3.	DIMENSIONES DE LAS FORMAS GENERADAS	15
4.	CONCLUSIONES	16
5.	BIBLIOGRAFÍA	17
6.	ANEXO 1: CURVA DE AREAS	18
7.	ANEXO 2: PLANO DE FORMAS.....	20



INDICE DE FIGURAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Figura 1: Componentes de la resistencia en función de F_n	8
	Figura 2: Semiángulo de entrada	9
	Figura 3: Ángulo de lanzamiento.....	9
	Figura 4: Ángulo de salida longitudinal	10
	Figura 5: Visión general del casco por proa y estribor	12
	Figura 6: Visión general del casco por popa y estribor	12
	Figura 7: Curva de áreas.....	14



INDICE DE TABLAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Tabla 1. Valores principales.....	6
	Tabla 2. Parámetros instalación del bulbo de proa	7
	Tabla 3. Dimensiones generadas.....	15
	Tabla 4. Comparación dimensiones iniciales y finales	16



1. INTRODUCCIÓN

Previamente, en el cuaderno 2 se ha realizado un dimensionamiento general de las dimensiones del proyecto de acuerdo a otros buques de similares características, fórmulas propuestas a tal fin y relaciones entre algunos valores.

Teniendo esos datos podemos proceder al diseño de las formas del buque, para ello, hay que realizar algunas consideraciones previas que van a describirse en los puntos siguientes, para lograr el equilibrio entre el máximo rendimiento hidrodinámico y la máxima capacidad operacional.

Otro punto que será estudiado en el presente cuaderno serán las formas obtenidas, para en el caso de que no sean las idóneas buscarlas de forma re iterativa hasta llegar a una forma adecuada



2. CONSIDERACIONES PREVIAS

Antes de comenzar el diseño de las formas del buque como ya se ha dicho, deben tomarse en cuenta una serie de factores.

2.1. DIMENSIONES PREVIAS

Del “Cuaderno 2 – Dimensionamiento” hemos obtenido los valores (tabla 1) con los que vamos a tratar generar nuestras formas en un primer acercamiento, , algunos de estos valores vienen fijados por los requisitos del proyecto y otros han sido calculados a partir de buques similares o relaciones entre sí.

Valores iniciales		
Parámetro	Valor	Unidades
Lbp	79,5	m
B	17,9	m
T	7,2	m
Disp	7000	t
Cb	0,67	-
Cm	0,979	-
Cp	0,681	-
Cwp	0,787	-

Tabla 1. Valores principales

2.2. BULBO DE PROA

Es importante estudiar el parámetro referido al bulbo de proa en el buque antes de proceder a generar las formas. Para estudiar la conveniencia o no de este apéndice estructural hay una serie de valores estipulados que deben comprobarse ya que fijan unos límites entre los que está demostrada la influencia positiva o no de los bulbos de proa en las características hidrodinámicas del proyecto.

De acuerdo a los apuntes de la ref. [3], un bulbo de proa será recomendable para los buques cuyos valores de coeficiente de bloque, número de Froude y relación adimensional de eslora entre manga se encuentren entre las cotas expuestas en la tabla 2, incluyendo los valores correspondientes de nuestro proyecto en la columna de la derecha: en verde si cumplen y en rojo si no lo hacen.



Parámetro	Lim. Inf.	Lim. Sup.	Valor
C_B	0,6	0,83	0.67
L/B	5	7	4.441
F_n	0,16	0,57	0.203

Tabla 2. Parámetros instalación del bulbo de proa

De acuerdo a lo que se observa en la tabla la presencia o no de bulbo de proa, si bien no quedaría probada su mejora en este caso, si parece una buena idea, de cara a la resistencia al avance, puesto que dos de los tres parámetros de estudio se encuentran entre los límites recomendados.

Hay sin embargo un tercer parámetro a estudiar, tal y como propone el Dr. Manuel Carlier en su tesis Ref. [2], donde estipula que un bulbo de proa no resultará recomendable si el buque no cumple la siguiente condición:

$$C_B \cdot \frac{B}{L} > 0,135$$

Siendo en nuestro caso:

$$0,67 \cdot \frac{17,9}{79,5} = 0,151 > 0,135$$

Luego de acuerdo a lo expuesto, la existencia de bulbo de proa en este caso podría resultar incluso desfavorable.

Finalmente, y antes de tomar una decisión, se debe entender el tipo de buque sobre el que se está trabajando. Un buque de investigación oceanográfico requiere especialmente una reducción de ruidos y vibraciones tan grande como sea posible, y un bulbo de proa, si bien resulta beneficioso respecto a la resistencia por formación de olas, también aumenta las vibraciones y ruidos asociados, además conlleva un incremento de la superficie mojada del buque, lo que se traduce en un aumento de resistencia por fricción.

2.3. CUERPO DE PROA

Una vez decidido que se va a diseñar sin bulbo de proa es importante decidir las formas generales de las cuadernas de proa. Para ello se va a atender a dos motivos fundamentales, el comportamiento en la mar y la resistencia al avance.

Para mejorar el comportamiento en la mar se acentuará el abanico de proa.

A fin de disminuir la resistencia al avance del buque, las cuadernas de proa se van a diseñar

con formas más acusadas de tipo “V”, moderándose a medida que van estando más cerca de la cuaderna maestra.

El ángulo de entrada se intenta que sea reducido para evitar resistencia por formación de olas, sin embargo este no resulta un parámetro prioritario para el presente proyecto puesto que el número de Froude, $F_N=0,2$ nos indica que se trata de un buque de baja velocidad, por lo que su resistencia por formación de olas no será un parámetro crítico en la resistencia total de avance, tal y como se puede observar en la figura 1, a un número de Froude de esta magnitud, la mayor componente en la resistencia al avance total proviene de la resistencia de fricción.

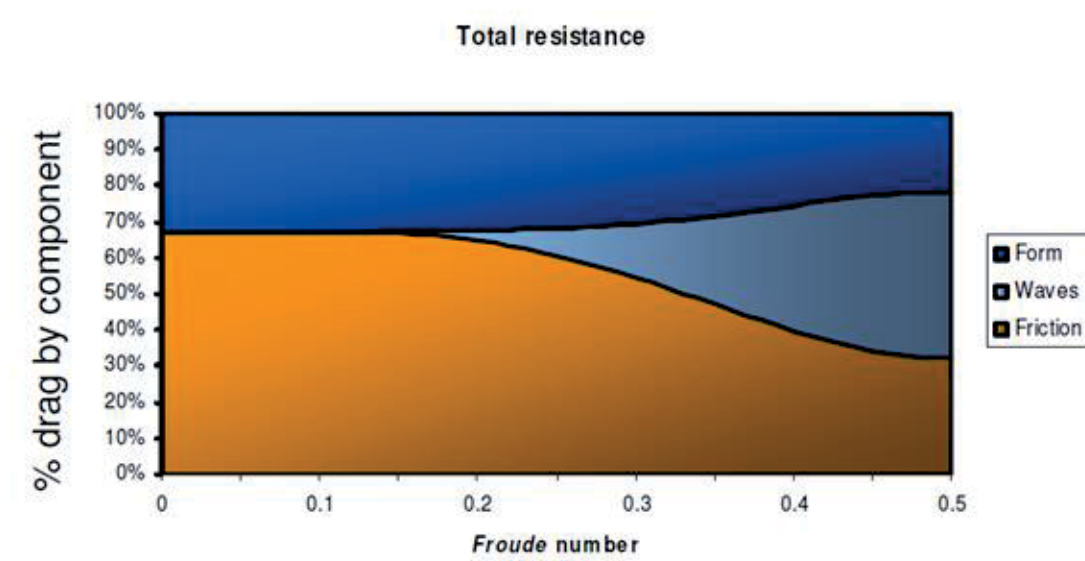


Figura 1: Componentes de la resistencia en función de F_n

De esta manera, el semiángulo α de entrada en la flotación si bien no es prioritario de optimizar, tampoco conviene que sea demasiado amplio, una expresión que se usa para calcular el valor máximo recomendado es la siguiente:

$$\alpha = 125,67 \cdot \frac{B}{L_{bp}} - 162,25 \cdot C_P^2 + 234,32 \cdot C_P^3 + 0,1551 \cdot X_B + \left[\frac{6,8(T_A - T_F)}{T} \right]^3$$

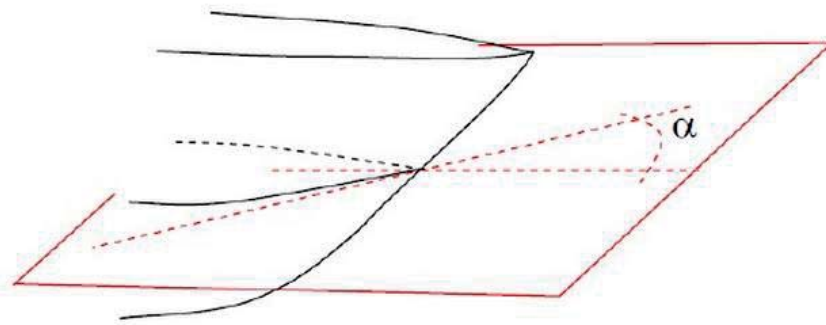


Figura 2: Semiángulo de entrada

Otros importantes aspectos a tener en cuenta en la proa son el abanico y el ángulo de lanzamiento β , que forma la roda, en su intersección con el plano de la flotación, ya que un mal diseño de los mismos podría aumentar el cabeceo y el embarque de agua.

Las recomendaciones para el ángulo de lanzamiento β son de valores entre 15° y 30° , logrando así un ángulo de entrada constante para un mayor espectro de calados, suponiendo, como es nuestro caso que no haya bulbo de proa.

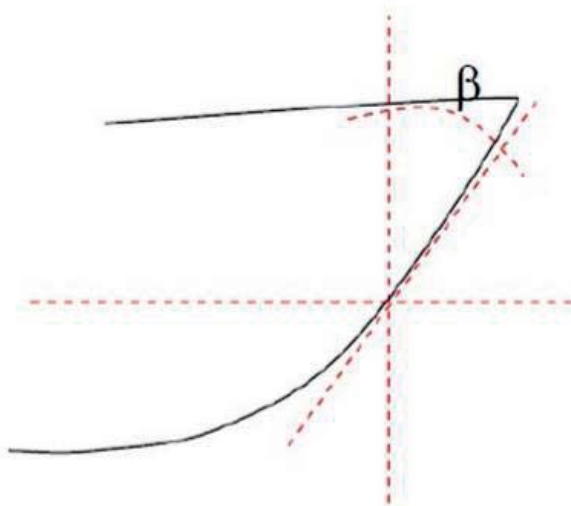


Figura 3: Ángulo de lanzamiento

Por otra parte, el abanico en las formas de proa colabora en el amortiguamiento del movimiento de cabeceo del buque gracias a la fuerza hidrostática adicional generada por la inmersión de un mayor volumen en este movimiento. Sin embargo, un exceso en el abanico de proa podría ocasionar la aparición de grandes momentos torsores a causa del oleaje, además

de una mayor resistencia al avance por formación de la ola rompiente. Se tratará por tanto de diseñar la proa con un abanico moderado para evitar riesgos adicionales.

2.4. CUERPO DE POPA

La parte del buque que no pertenece al cuerpo de proa será el cuerpo de popa, ya que en este tipo de buques no suele existir cuerpo cilíndrico.

El cuerpo de popa se diseñará atendiendo a dos características, operacionales y de diseño del propulsor.

Respecto a la característica operacional, se intentará no reducir la manga a lo largo de las cubiertas, especialmente en la de trabajo (estimada en 8,86 m en el cuaderno 2), puesto que se necesitará tanto espacio como sea posible.

En cuanto al diseño del propulsor, dada la condición diésel-eléctrica especificada en los requisitos de diseño, así como el posicionamiento dinámico DP2 se ha barajado como opción más favorable al menos dos thrusters azimutales accionados por sendos motores eléctricos, que podrán colocarse en una cubierta diferente de los generadores principales, a fin de situarlos en una posición donde la distancia del eje entre el sistema de gobierno de los thrusters y ellos sea mínima.

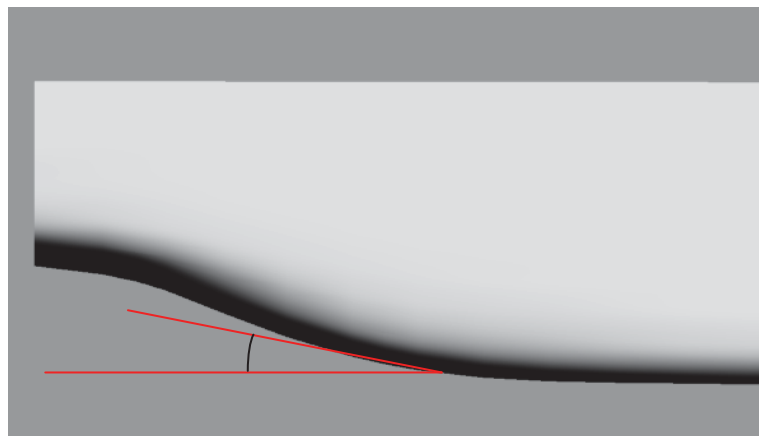


Figura 4: Ángulo de salida longitudinal

Se tratará que la reducción de área hacia popa sea moderada para evitar desprendimiento de la capa límite, y que el ángulo entre la línea base y la popa mostrado en la figura superior, sea tan reducido como se pueda, finalmente se intentará volver a unas formas más rectas a fin de facilitar el montaje de los thrusters azimutales.



3. FORMAS

Una vez se han definido ciertos parámetros, dimensiones y condiciones se procede al siguiente paso, consistente en la generación tridimensional y posterior análisis de las formas del casco del buque.

3.1. GENERACION DE FORMAS

El primer paso para la generación de formas es tomar el plano de formas de un buque base cuyas características sean semejantes a las condiciones que se han impuesto en puntos previos de este cuaderno, ajustar las dimensiones y realizar un primer modelo tridimensional.

Para este fin se ha optado por el programa de diseño gráfico Rhinoceros.

Se han realizado varios modelos, basados en cinco formas base completamente diferentes, y mejorando, en un proceso iterativo dichas formas, llegando en algunos casos a más de diez versiones diferentes sobre una misma forma base.

En cada caso, una vez obtenida la forma deseada, se exportaba ésta al programa Maxsurf, donde se estudiaban sus formas, valores hidrostáticos y curva de áreas, a fin de que cumpliesen las condiciones previas.

En caso de que las formas y la curva de áreas fuesen aceptables, pero los valores de los coeficientes de formas así como las dimensiones principales se alejasen de lo esperado se ha procedido a realizar transformaciones paramétricas sobre el modelo, tras lo cual se volvían a comprobar las formas y curva de áreas.

Tras un notable número de versiones y transformaciones paramétricas se ha llegado al modelo deseado, cuyas formas tridimensionales pueden observarse en las siguientes figuras:

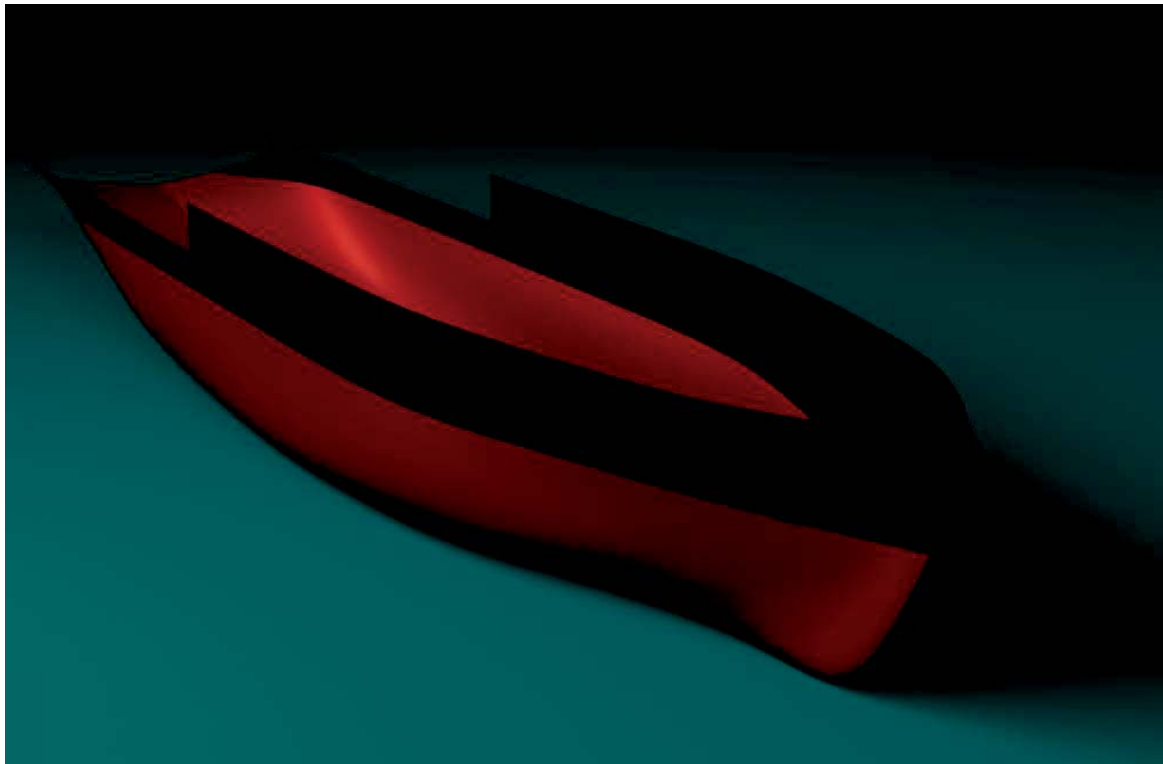


Figura 5: Visión general del casco por proa y estribor

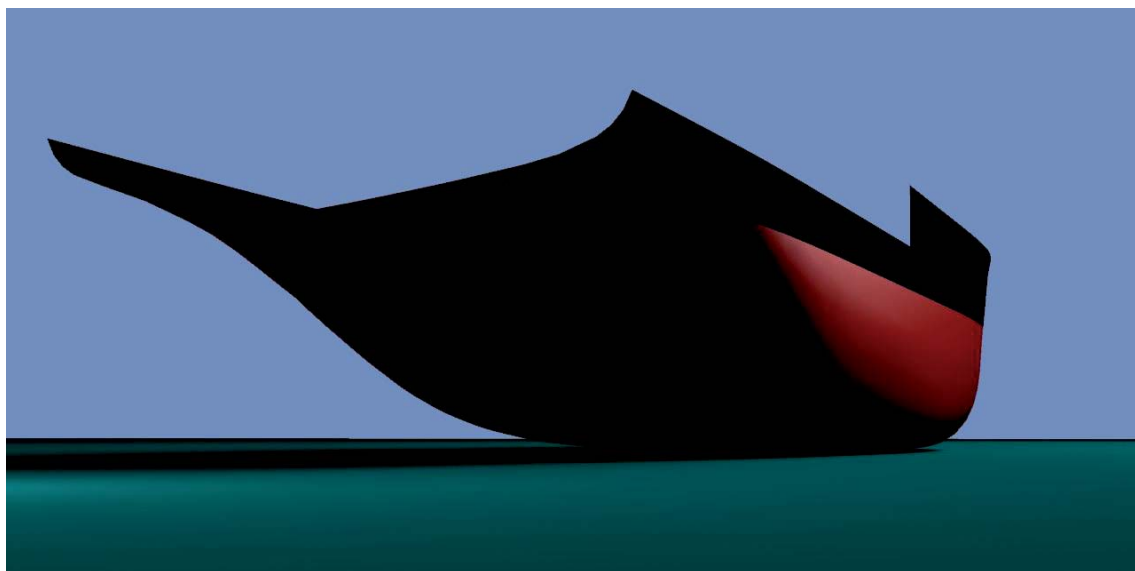


Figura 6: Visión general del casco por popa y estribor

Otro punto a tener en cuenta será la instalación de un quillote en popa, para ello debe estudiarse tanto el área longitudinal bajo la flotación proyectada a proa del centro de presiones del buque como a popa de dicho punto, sobre las formas generadas. Este punto se situará en el centroide del área.

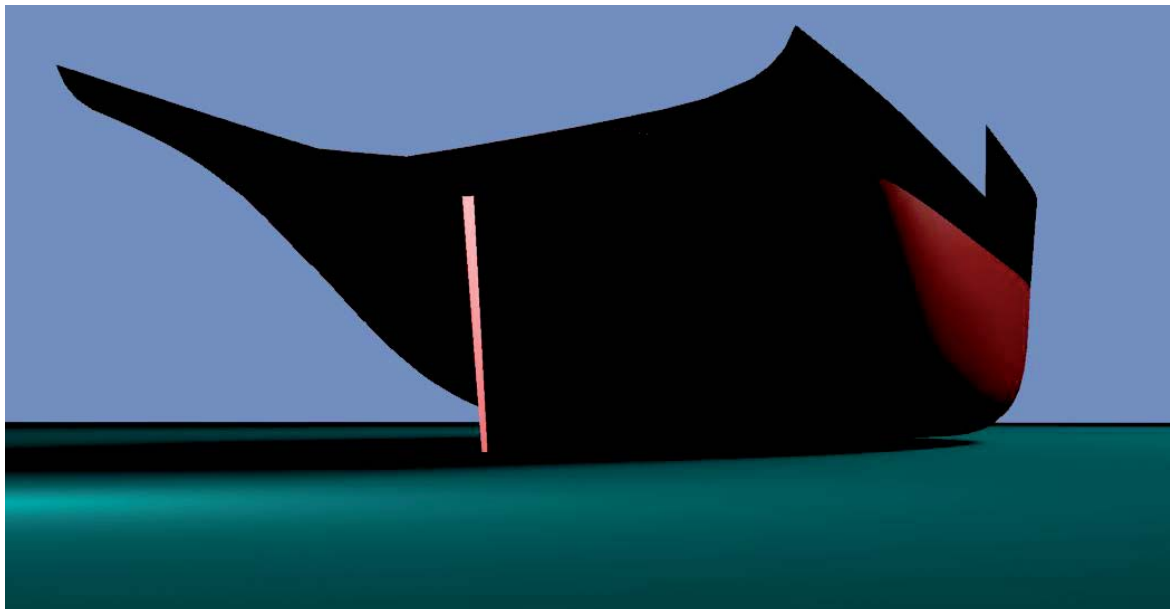


Como se puede observar, el área de deriva a proa es ligeramente superior, lo que puede empeorar la estabilidad de ruta, si bien es cierto que con un sistema de propulsión como el que se va a emplear (dos propulsores azimutales de popa) se puede contrarrestar este resultado, significaría una pérdida de eficiencia que puede evitarse aumentando el área de deriva a popa mediante la instalación de un quillote, tal y como se observa en la siguiente imagen:



Además el quillote ayudará a evitar que los propulsores puedan influirse negativamente entre si al proyectar uno su chorro sobre el otro durante maniobras.

Con esta nueva modificación la vista desde popa quedaría de la siguiente forma:



El plano de formas correspondiente a este modelo, se encuentra en el anexo 2.

3.2. CURVA DE AREAS

La curva de áreas obtenida se puede observar en la figura expuesta a continuación (imagen tomada del Maxsurf), aunque para un detalle mayor se anexa en tamaño DIN A3 en el anexo 1.

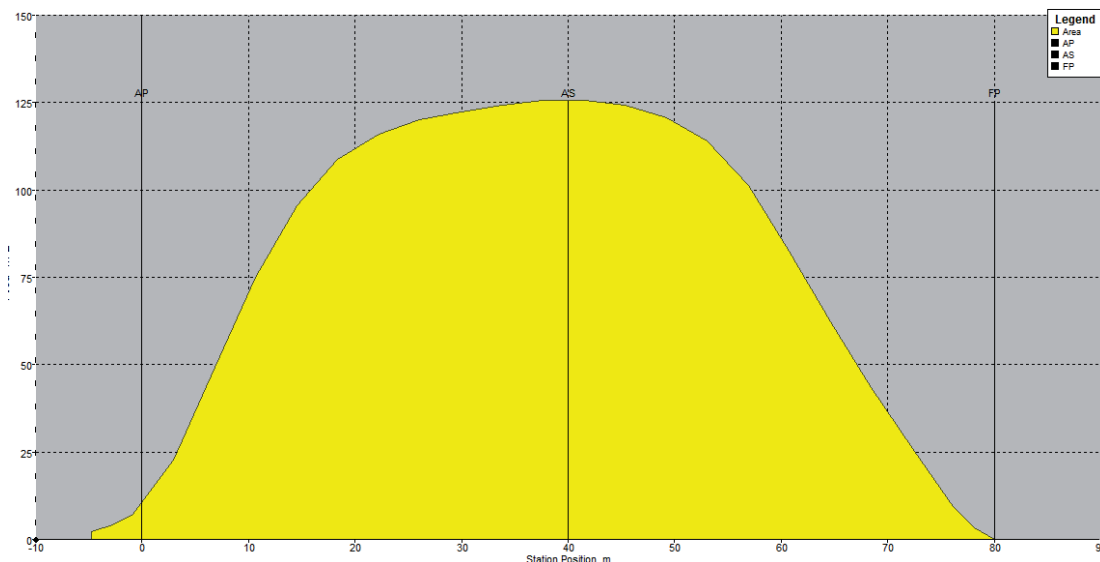


Figura 7: Curva de áreas

La curva de áreas nos muestra una entrada en el cuerpo de proa ligeramente cóncava, cualidad que proporciona una mitigación de la resistencia por formación de olas y mejora el comportamiento en la mar del buque.

A esta entrada le sigue un tramo recto, que indica crecimiento homogéneo del área, a fin de no generar aumento en la resistencia al avance.

Los “shoulders”, tanto de proa como de popa no son nada pronunciados, esto evita desprendimiento del flujo en la sección de popa, con la consiguiente mitigación del aumento de la resistencia total.

Entre dichos “shoulders”, donde se encuentra la cuaderna maestra, cabe destacar la ausencia de cuerpo cilíndrico del modelo, tal y como se ha buscado desde su primer diseño.

Finalmente puede observarse, tanto en el cuerpo de popa, como en el de proa una reducción constante del área, lo que se traduce en un menor riesgo de desprendimiento de flujo. Es solo al final cuando la razón de reducción de áreas varía, mostrando un final nuevamente cóncavo, beneficioso para el buque, que termina bruscamente, debido a la popa de espejo ligeramente sumergida. El área de dicha popa de espejo sumergida es mínima, al calado de diseño máximo, a fin de evitar un aumento en la resistencia total de avance.



3.3. DIMENSIONES DE LAS FORMAS GENERADAS

El propio programa Maxsurf nos ofrece al calado prefijado de 7,2 m, los valores de las formas de nuestro buque, que son las resumidas en la tabla.

Formas generadas		
Parámetro	Valor	Unidades
Desplazamiento	7020.5	ton
Volumen	6849.3	m ³
Calado m	7.201	m
Eslora en la flotación	84.765	m
Manga en la flotación	18.149	m
Superficie mojada	2002.65	m ²
Área transversal máxima	125.84	m ²
Área de flotación	1274.31	m ²
Coeficiente prismático	0.68	-
Coeficiente de bloque	0.655	-
Coeficiente de la maestra	0.967	-
Coeficiente de la flotación	0.877	-
LCB (desde sec. media)	-2.82	m
LCF (desde sec. media)	-6.769	m
LCB (desde sec. media) %Lbp	-3.523	%
LCF (desde sec. Media %Lbp	-8.458	%
KB m	4.075	m
KG m	0	m
BMt m	4.377	m
BML m	83.375	m
GMt m	8.452	m
GML m	87.45	m
KMt m	8.452	m
KML m	87.45	m
Ton/cm de inmersión	13.062	ton/cm
Mto para trimar 1 cm	76.71	ton.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	1035.6	ton.m
Precisión	Highest	200 secciones

Tabla 3. Dimensiones generadas



4. CONCLUSIONES

Lo primero que vamos a hacer es comprobar la discrepancia entre los valores iniciales que se estimaron en el cuaderno 2 y los obtenidos una vez realizadas las formas, a fin de comprobar si el resultado final se aleja demasiado de los valores de entrada.

Parámetro	Inicial	Final	Unidades	Diferencia
Lbp	79.5	80.035	m	0.67%
B	17.9	18.15	m	1.38%
T	7.2	7.2	m	0.00%
Disp	7000	7020.5	t	0.29%
Cb	0.67	0.655	-	2.29%
Cm	0.979	0.967	-	1.24%
Cp	0.681	0.68	-	0.15%
Cwp	0.787	0.877	-	10.26%

Tabla 4. Comparación dimensiones iniciales y finales

Como podemos ver el único valor cuya diferencia sobrepasa el 3% respecto del valor inicial es el coeficiente del plano de la flotación, que como se ha explicado en este cuaderno ha tratado de agrandarse a fin de poder alojar mayor espacio de trabajo, algo que no se durante el dimensionamiento inicial, puesto que no tuvo tan en cuenta entonces la capacidad operativa de un buque oceanográfico.

Los demás valores entran dentro de un margen de error aceptable, y eso sumado a una curva de áreas indicativa de que el cuerpo del modelo se ha ajustado a los parámetros y condiciones que hemos impuesto nos converge en unas formas finales que tomaremos como buenas y sobre las que se basará el resto del presente proyecto.

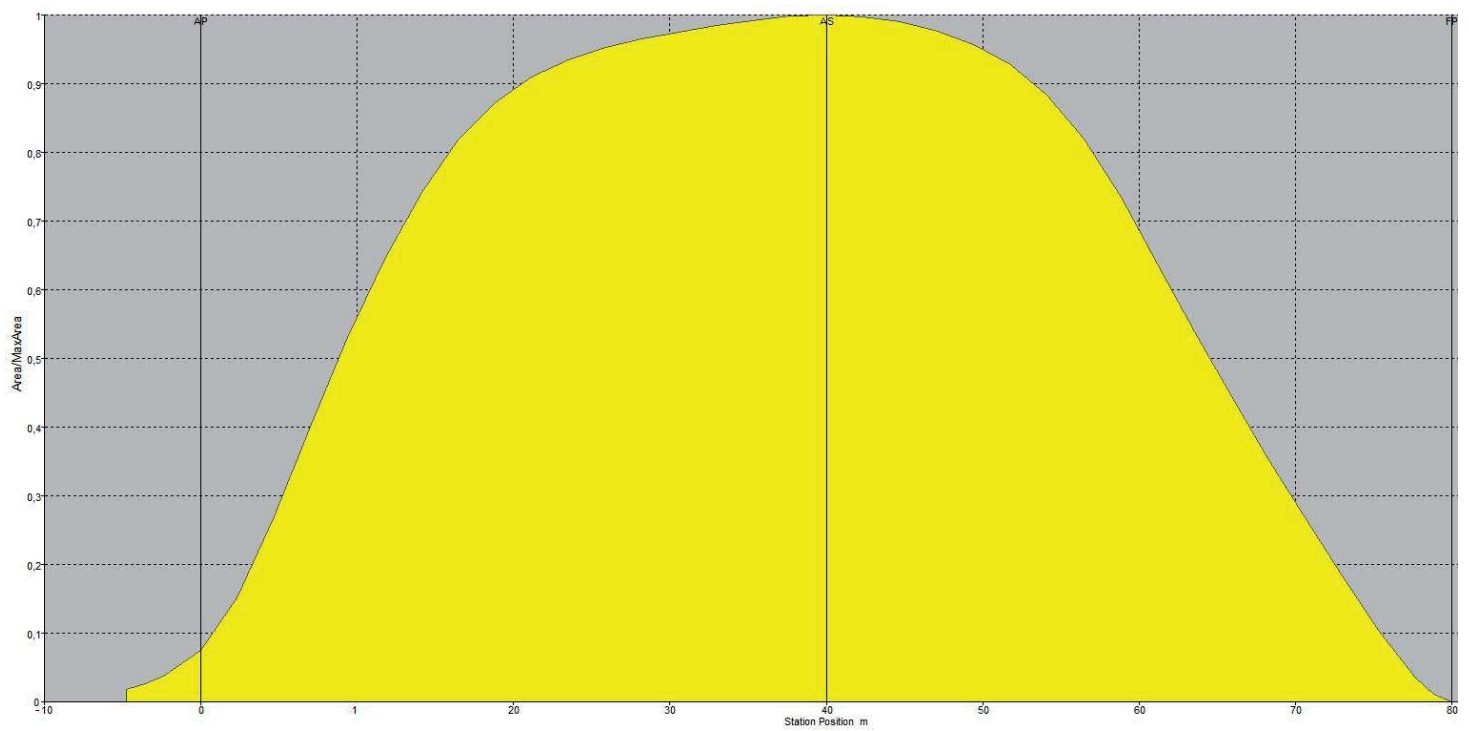


5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MEIZOSO FERNÁNDEZ, MANUEL; ALVARIÑO CASTRO, RICARDO; AZPÍROZ AZPÍROZ, JUAN JOSÉ. *“El Proyecto Básico del Buque Mercante”*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval, 1997
- [2] BAQUERO MAYOR, ANTONIO. *“Introducción a la Resistencia y Propulsión”*. ETSIN, 2011
- [3] CARLIER DE LAVALLE, MANUEL. *“Tesis doctoral: Análisis hidrodinámico y proyecto del bulbo de proa”*. ETSIN, 1985

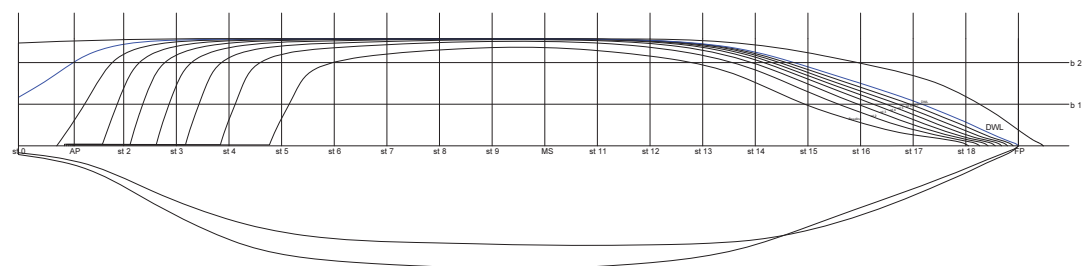
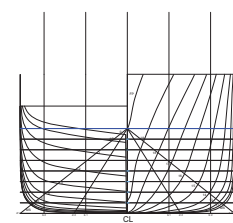


6. ANEXO 1: CURVA DE AREAS





7. ANEXO 2: PLANO DE FORMAS



Eslera total (Loa)	87.36 m
Eslera flotaci6n (Lwl)	84.76 m
Eslera entre perpendiculares (Lbp)	80.04 m
Manga de trazado (B)	18.15 m
Gaiteo de proyecto (T)	7.2 m
Puntal de trazado (D)	9.1 m
Desplazamiento (Δ)	7020 t
Coefficiente prismático (Cp)	0.68
Coefficiente de bloque (Cb)	0.655
Coefficiente de la maestra (Cm)	0.967
Coefficiente de la flotaci6n (Cwp)	0.877
Abscisa centro de flotaci6n (Xf) *	-2.82 m
Abscisa centro de carena (Xb) *	-6.77 m
Superficie mojada (Sw)	2002.65 m ²

* Respecto de la cuaderna maestra





PROYECTO Nº 252

BUQUE OCEANOGRÁFICO

DE 7.000 T

Cuaderno 4

Disposición general

TUTOR: ELOY J. CARRILLO HONTORIA

ALUMNO: ALEJANDRO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
1.	INTRODUCCIÓN	8
2.	ELEMENTOS ESTRUCTURALES	9
2.1.	CLARA ENTRE CUADERNAS.....	9
2.2.	CLARA ENTRE BULÁRCAMAS.....	9
2.3.	MAMPAROS	9
2.3.1.	MAMPARO DE COLISION	10
2.3.2.	MAMPARO DEL PIQUE DE POPA	11
2.3.3.	MAMPAROS DE LA PLANTA PROPULSORA	11
2.3.4.	MAMPAROS DE LA CÁMARA DE MÁQUINAS	12
2.4.	ELEMENTOS ESTRUCTURALES LONGITUDINALES	12
3.	DISPOSICIÓN DE CUBIERTAS	13
3.1.	DOBLE FONDO	13
3.2.	CUBIERTAS	13
3.3.	AMURADA.....	13
3.4.	CASTILLO DE PROA	13
4.	HABILITACIÓN	15
4.1.	CAMAROTES.....	15
4.1.1.	OFICIALES SUPERIORES.....	16
4.1.2.	OFICIALES SUBALTERNOS	17
4.1.3.	TRIPULACIÓN	17
4.1.4.	CIENTÍFICOS	18
4.1.5.	OTROS	19
4.2.	COCINA.....	19
4.3.	GAMBUZAS	19
4.3.1.	CARNE Y PESCADO	19
4.3.2.	VEGETALES	20
4.3.3.	PROVISIONES SECAS	20
4.4.	COMEDOR	20
4.4.1.	OFICIALES	20



INDICE DE CONTENIDOS

Capítulo	Descripción	Página
4.4.2.	TRIPULACIÓN	21
4.4.3.	PERSONAL CIENTÍFICO	21
4.5.	LAVANDERÍA	22
4.6.	ASEOS	22
4.7.	OFICINA COMÚN	22
4.8.	VESTUARIOS	23
4.9.	GIMNASIO	23
4.10.	SAUNA	23
4.11.	SALA DE DESCANSO	24
4.11.1.	OFICIALES	24
4.11.2.	TRIPULACIÓN	24
4.11.3.	CIENTÍFICOS	24
4.12.	BIBLIOTECA	25
4.13.	SALA DE PROYECCIONES	25
4.14.	HOSPITAL Y ENFERMERÍA	26
4.15.	PAÑOL DE PINTURAS	26
4.16.	SALAS DE CONFINAMIENTO	26
4.17.	LOCAL DE BASURAS	27
4.18.	INCINERADORA	27
4.19.	PLANTA POTABILIZADORA	27
5.	ZONAS DE TRABAJO	28
5.1.	CUBIERTA DE TRABAJO	28
5.2.	HANGAR	30
5.3.	LOCAL DE ROSETA	30
5.4.	LOCAL DE QUILLA RETRÁCTIL	31
5.5.	SALA DE CONTROL DEL ROV	31
5.6.	LABORATORIOS	32
5.6.1.	LABORATORIO BIOLÓGICO	32
5.6.2.	LABORATORIO GEOLÓGICO	33



INDICE DE CONTENIDOS

Capítulo	Descripción	Página
5.6.3.	LABORATORIO QUÍMICO	33
5.6.4.	LABORATORIO SECO	33
5.6.5.	LABORATORIO HÚMEDO	33
5.6.6.	LABORATORIO MULTIPROPÓSITO	33
5.6.7.	CENTRO DE CÁLCULO	33
5.6.8.	LABORATORIO HÚMEDO	33
5.7.	PAÑOL CIENTÍFICO	34
6.	CÁMARA DE MÁQUINAS Y PLANTA PROPULSORA	35
6.1.	GENERADORES PRINCIPALES	35
6.2.	GENERADOR DE PUERTO	36
6.3.	GENERADOR DE EMERGENCIA	36
6.4.	PROPULSORES PRINCIPALES	37
6.5.	PROPULSOR AUXILIAR	38
6.6.	SALA DE CONTROL	39
6.7.	TALLER	39
6.8.	SALA DE EQUIPOS ELÉCTRICOS	39
6.9.	HÉLICES TRANSVERSALES DE PROA	39
6.10.	LOCAL DE CO ₂	40
6.11.	LOCAL DE AIRE ACONDICIONADO	40
7.	PUENTE DE MANDO	41
8.	FONDEO Y AMARRE	42
8.1.	AMARRE	42
8.2.	FONDEO	42
8.2.1.	CAJAS DE CADENAS	42
9.	SALVAMENTO Y EVACUACIÓN	44
10.	DISPOSICIÓN Y VOLUMEN DE TANQUES	45
10.1.	TANQUES DE AGUA DULCE	45
10.2.	TANQUES DE COMBUSTIBLE (MDO)	46
10.3.	TANQUES DE SERVICIO DIARIO	48



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
10.3.1.	GENERADORES PRINCIPALES	48
10.3.2.	GENERADOR DE EMERGENCIA	49
10.4.	TANQUES PRINCIPALES DE MDO	49
10.5.	TANQUE DE REBOSES	50
10.6.	TANQUES DE ACEITE LUBRICANTE	50
10.7.	TANQUES DE ACEITE SUCIO	52
10.8.	TANQUES DE LODOS	52
10.9.	TANQUE DE AGUAS GRISES	53
10.10.	TANQUE DE AGUAS NEGRAS	54
10.11.	TANQUES DE SENTINA	54
10.12.	TANQUES DE LASTRE	54
11.	FLUJOS	55
11.1.	FLUJO DE APROVISIONAMIENTO DE ALIMENTOS	55
11.2.	OPERACIÓN DEL ROV	55
11.3.	FLUJO DE EVACUACIÓN	55
12.	CONCLUSIONES	57
13.	BIBLIOGRAFÍA	58
14.	ANEXO 1: PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL	59
15.	ANEXO 2: FLUJOS	60



INDICE DE FIGURAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Ilustración 1. Disposición de mamparos estancos	12
	Ilustración 2. Camarotes oficiales superiores	17
	Ilustración 3. Camarotes oficiales subalternos	17
	Ilustración 4. Camarotes tripulación	18
	Ilustración 5. Camarotes científicos	19
	Ilustración 6. Cocina y gambuzas	20
	Ilustración 7. Comedor oficiales	21
	Ilustración 8. Comedor científicos y comedor tripulación	21
	Ilustración 9. Lavandería	22
	Ilustración 10. Oficina común	23
	Ilustración 11. Gimnasio, vestuarios y sauna	23
	Ilustración 12. Sala de descanso, oficiales	24
	Ilustración 13. Sala de descanso, tripulación	24
	Ilustración 14. Sala de descanso, científicos	25
	Ilustración 15. Biblioteca	25
	Ilustración 16. Sala de proyecciones	26
	Ilustración 17. Hospital y enfermería	26
	Ilustración 18. Salas de confinamiento	27
	Ilustración 19. Local de basuras	27
	Ilustración 20. Incineradora y planta potabilizadora	28
	Ilustración 21. Cubierta de trabajo	30
	Ilustración 22. Hangar y local de roseta	31
	Ilustración 23. Local de quilla retráctil	31
	Ilustración 24. Sala de control del ROV	32
	Ilustración 25. Laboratorios	32
	Ilustración 26. Local de roseta CTD y laboratorio húmedo	34
	Ilustración 27. Cámara de máquinas, generadores principales	36
	Ilustración 28. Generador de emergencia	36
	Ilustración 29. Sala de control	39
	Ilustración 30. Locales auxiliares de CCMM y propulsores transversales de proa	40
	Ilustración 31. Puente de mando	41
	Ilustración 32. Castillo de proa	43
	Ilustración 33. Dispositivos de salvamento, balsas y botes salvavidas	44
	Ilustración 34. Gráfica de consumos C32	47



INDICE DE TABLAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Tabla 1. Número de mamparos estancos, BV	10
	Tabla 2. Límites mamparo de colisión.....	11
	Tabla 3. Dimensiones motor eléctrico, propulsores principales.....	37
	Tabla 4. Dimensiones motor eléctrico, propulsor auxiliar	38
	Tabla 5. Consumos C32	47
	Tabla 6. Características técnicas, C32	52



1. INTRODUCCIÓN

Se va a definir en este cuaderno la disposición a bordo de los diferentes locales, elementos y tanques del buque.

Se dimensionarán también los volúmenes de dichos tanques, y locales.

El compartimentado y los refuerzos se decidirán también, incluyendo los mamparos estancos y mamparo de colisión.

Finalmente se estudiarán los principales flujos de movimiento y trabajo a bordo, para comprobar que la distribución se ha realizado de forma eficiente.



2. ELEMENTOS ESTRUCTURALES

La disposición, número y características de los elementos transversales se ha realizado de acuerdo a lo estipulado en la normativa de Bureau Veritas para buques de acero (Parte B), y el capítulo II del convenio SOLAS.

2.1. CLARA ENTRE CUADERNAS

La separación entre cuadernas se va a tomar a partir de los valores observados en buques similares. Los valores más comunes de clara de cuadernas se encuentran comprendidos entre 600 y 700 milímetros.

La normativa indica un espaciado de:

- $S = 2.08L + 438 \text{ mm}$ $L \leq 270 \text{ m}$
- $S = 1000 \text{ mm}$ $270 < L \leq 427 \text{ m}$

De donde se obtiene un resultado de 597,8 mm; se ha decidido tomar este valor de espaciado como 600 mm a lo largo de toda la eslora.

2.2. CLARA ENTRE BULÁRCAMAS

Las bulárcamas se van a espaciar cada cuatro cuadernas, aunque adicionalmente se situará un refuerzo transversal en las cuadernas correspondientes a los mamparos de colisión.

2.3. MAMPAROS

De acuerdo a lo estipulado en el reglamento de Bureau Veritas, Parte B, Capítulo 2, sección 1, los buques construidos en acero constarán de, al menos, los siguientes mamparos transversales estancos desde la línea base hasta la cubierta estanca más alta:

- Un mamparo de colisión
- Un mamparo de pique de popa para buques de pasajeros y RO-Ros
- Dos mamparos en los extremos de la cámara de máquinas en buques con cámara de máquinas en la zona media y un único mamparo a proa de la cámara de máquinas si esta se sitúa en popa. En caso de buques con propulsión eléctrica, tanto la sala de generadores como la de motores propulsores deben estar cerradas por mamparos en sus extremos

El número mínimo de mamparos transversales estancos será en cualquier caso, como mínimo el indicado en la siguiente tabla:



Length (m)	Number of bulkheads for ships with aft machinery (1)	Number of bulkheads for other ships
L < 65	3	4
65 ≤ L < 85	4	5
85 ≤ L < 105	4	5
105 ≤ L < 120	5	6
120 ≤ L < 145	6	7
145 ≤ L < 165	7	8
165 ≤ L < 190	8	9
L ≥ 190	to be defined on a case by case basis	
(1) After peak bulkhead and aft machinery bulkhead are the same.		

Tabla 1. Número de mamparos estancos, BV

De acuerdo a todo lo anteriormente expuesto, en el caso del presente proyecto, se deberán disponer al menos de:

- Un mamparo de colisión
- Un mamparo a popa y otro a proa de cada planta propulsora
- Un mamparo a popa y otro a proa de la cámara de máquinas (generadores), coincidiendo el de popa con el de proa de la planta propulsora del “pump-jet”

Lo que hace un total de 6 mamparos estancos transversales, valor superior al mínimo indicado en la tabla para buques de entre 65 y 85 metros de eslora, que son los límites entre los que se encuentra la eslora del presente proyecto, sin embargo se va a disponer de un mamparo estanco extra en la cuaderna 102 cuya finalidad será mejorar la estabilidad en averías.

2.3.1. MAMPARO DE COLISION

De acuerdo al reglamento del Bureau Veritas el mamparo de colisión estará situado a una distancia de la perpendicular de proa no inferior al 5% de la eslora de francobordo del buque, o 10 metros, la distancia que sea menor, y como máximo a una distancia no superior al 8% de la eslora de francobordo o el 5% de la eslora de francobordo más 3 metros, cualquiera que sea mayor. Además a eslora de francobordo no se tomará inferior a 50 metros.

Siendo la eslora de francobordo L_{LL} , el 96% de la eslora en la flotación medida al 85% del puntal $D = 9,1$.



En este caso la eslora en la flotación a la altura $h = 0,85 \cdot 9,1 = 7,735$ m es:

$$L_{85D} = 85,024 \text{ m}$$

Y la eslora de francobordo:

$$L_{LL} = 0,96 \cdot 85,024 = 81,62 \text{ m}$$

El límite inferior será el 5% de la L_{LL} , y el límite superior, al ser mayor el valor de 5% $L_{LL}+3$ que 8% L_{LL} , se tomará el primero de estos dos valores respecto de la perpendicular de proa, resultando:

Límite inf. (m)	Límite sup. (m)
4.08	7.08

Tabla 2. Límites mamparo de colisión

La distancia se ha tomado como 6,23 m, de tal manera que este mamparo coincida con la posición de la cuaderna número 123.

2.3.2. MAMPARO DEL PIQUE DE POPA

Se ha hecho coincidir con el mamparo de popa de la planta propulsora principal tal como se define a continuación.

2.3.3. MAMPAROS DE LA PLANTA PROPULSORA

La planta propulsora, como se explicará más adelante, se divide en planta propulsora principal y secundaria.

La planta propulsora principal se encuentra entre las cuadernas -3 y 11, mientras que la secundaria entre las cuadernas 25 y 42.

2.3.4. MAMPAROS DE LA CÁMARA DE MÁQUINAS

La cámara de máquinas correspondiente a la planta de generadores se ha dispuesto entre las cuadernas 42 y 68, de tal manera que el mamparo de popa coincida con el de la planta propulsora secundaria.

En la ilustración 1 se muestra el esquema de la disposición de los mamparos estancos transversales, marcados en rojo.

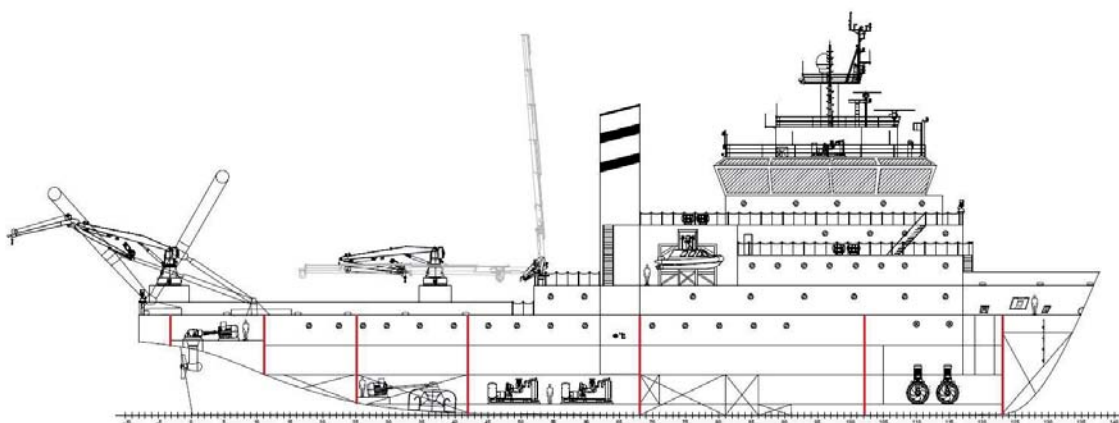


Ilustración 1. Disposición de mamparos estancos

2.4. ELEMENTOS ESTRUCTURALES LONGITUDINALES

Los elementos estructurales longitudinales se van a definir en los límites de los tanques, para reforzar la resistencia estructural repartiendo los esfuerzos.

Se situarán vagras para soportar la carga de los tanques a 3,5 y a 5,5 metros de distancia respecto de crujía, simétricamente en ambos costados.

Además, se sitúa una vagra central a lo largo de la crujía del buque.



3. DISPOSICIÓN DE CUBIERTAS

La disposición y alturas de las cubiertas, incluyendo el doble fondo se han realizado de acuerdo a la normativa de Bureau Veritas así como el *Convenio sobre el trabajo marítimo* (MLC), realizado en 2006 por el *International Labour Organization*.

3.1. DOBLE FONDO

En el reglamento de Bureau Veritas, Parte B, Capítulo 2, sección 2 se especifica, respecto a la altura del doble fondo que esta no será inferior al valor resultante de dividir por 20 la manga de diseño del buque. No será además tomada inferior a 760 mm ni superior a 2 metros

Luego el valor mínimo será $h=B/20=18,15/20=0,9075$, y se tomará por tanto como 1 m.

3.2. CUBIERTAS

Según el MLC, la altura entre cubiertas deberá ser de al menos 2,7 m, valor que se ha elegido para el presente proyecto.

El casco del buque se dividirá internamente pues en 4 cubiertas diferentes, todos los valores de altura están referidos a la línea base:

- Cubierta de doble fondo: 1 m.
- Cubierta inferior: 3,7 m.
- Cubierta principal: 6,4 m.
- Cubierta superior: 9,1 m.

3.3. AMURADA

Se situará sobre la cubierta superior, con una altura de 1,2 metros, estará construida en acero, salvo entre las cuadernas 49 y 52, donde será de cuerda y construida con elementos desmontables o abatibles a fin de facilitar la operación de la roseta CTD oceanográfica con la grúa telescópica.

3.4. CASTILLO DE PROA

Para lograr la altura mínima en proa, y de acuerdo con el reglamento de la ILLC se dispondrá un castillo de longitud mayor del 7% de la eslora de francobordo $L_{LL}=81,62$ m, y con una altura, medida en la perpendicular de proa desde flotación hasta la cubierta expuesta de dicha castillo superior a:



$$H_{\min proa} = 56 \cdot L \cdot \left(1 - \frac{L}{500}\right) \cdot \frac{1,36}{CB + 0,86}$$

$$H_{\min proa} = 56 \cdot 81,62 \cdot \left(1 - \frac{81,62}{500}\right) \cdot \frac{1,36}{0,655 + 0,86} = 3433,3 \text{ mm}$$

Se ha situado el castillo sobre la cubierta superior, con una altura de 2,7 metros, para que coincida con las cubiertas útiles del buque, quedando de esta manera una altura en proa de 4,6 metros entre la línea de flotación al calado máximo de diseño y la cubierta de cierre del castillo de proa, valor claramente superior al mínimo calculado.

La longitud del castillo de proa sobre la cubierta superior es de 10,72 metros, de tal manera que su extremo de popa coincide con el mamparo de colisión.

Esta longitud es algo superior al 7% de la eslora de francobordo exigido por la reglamentación, que resultaría: $0,07 \cdot 81,62 = 5,71 \text{ m}$; luego se toma definitivamente la longitud definida anteriormente en 10,72 metros, entre las cuadernas 117 y 135.



4. HABILITACIÓN

La construcción de la parte de habilitación se hará, de acuerdo con el convenio SOLAS, con materiales resistentes al fuego y aislamientos contra el frío.

Asimismo incluirán sistemas de protección contra incendios y sistemas de detección de humos en todos los pasillos y troncos de escaleras.

La distribución de la habilitación se ha realizado de acuerdo a las recomendaciones del *Convenio sobre el trabajo marítimo* (MLC), realizado en 2006 por el *International Labour Organization*, para buques con arqueo bruto de entre 3.000 y 10.000, valores estimados de acuerdo a buques de similares características.

4.1. CAMAROTES

Por especificaciones de diseño, el buque cuenta con 25 tripulantes y 50 científicos. El SOLAS, en su parte A, regulación 2, define como tripulación al capitán u otra persona empleada o contratada con cualquier cargo a bordo de un buque en la actividad comercial del buque, siendo pasajero cualquier otra persona a bordo distinta de este grupo, en este caso por tanto, los científicos serán considerados pasajeros.

Adicionalmente se dispondrá en el buque espacio para un tripulante extra, un médico, dado el elevado número de personas a bordo y la autonomía del buque, que puede estar varios meses sin ir a puerto.

La distribución de cargos de tripulantes se ha asignado como sigue:

- Oficiales superiores (4)
 - Un capitán
 - Un jefe de máquinas
 - Un oficial primero de cubierta
 - Un oficial primero de jefe de máquinas

- Oficiales subalternos (4)
 - Un oficial segundo de cubierta
 - Un oficial segundo de máquinas
 - Un oficial tercero de cubierta
 - Un oficial tercero de máquinas



- Maestranza (5)
 - Un cocinero
 - Un camarero
 - Un contraamaestre
 - Un mecánico
 - Un electricista

- Marinería (12)
 - Un marmitón
 - Tres engrasadores
 - Siete marineros

- Otros (1)
 - Un médico

- Pasajeros
 - 50 científicos

Según el MLC, título 3, regla 3.1, se dispondrá de un camarote individual para cada persona a bordo, con una superficie mínima de camarote especificada según posición jerárquica, en todo caso incluyendo litera, armario, mesa y silla.

4.1.1. OFICIALES SUPERIORES

La superficie mínima del camarote de un oficial superior, si no tiene salón privado será de 8,50 m².

Los oficiales superiores dispondrán en sus camarotes de salón privado, y estarán situados en lo más alto de la superestructura, solo por debajo del puente.

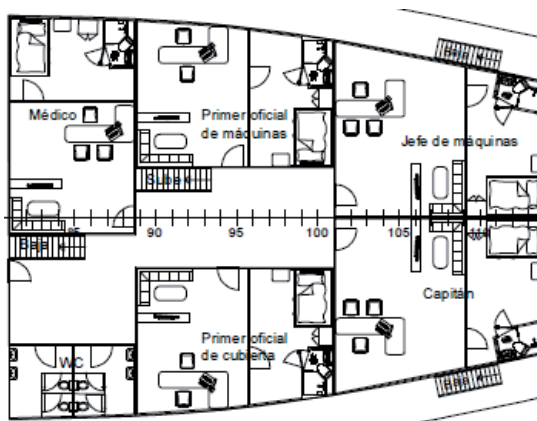


Ilustración 2. Camarotes oficiales superiores

4.1.2. OFICIALES SUBALTERNOS

La superficie mínima del camarote de un oficial subalterno, si no tiene salón privado será de $7,50 \text{ m}^2$.

En el caso de los cuatro oficiales subalternos dispondrán también de salón privado.

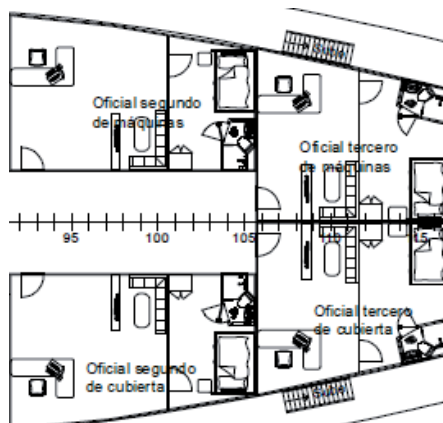


Ilustración 3. Camarotes oficiales subalternos

4.1.3. TRIPULACIÓN

La superficie mínima del camarote de un miembro de la tripulación será de $5,50 \text{ m}^2$, para camarotes individuales o $7,50 \text{ m}^2$ si son para dos personas.

Se han dispuesto camarotes individuales de $9,5 \text{ m}^2$ para los camarotes situados en los costados

de babor y estribor, y de 13 m^2 para lo situados a ambos lados de crujía.

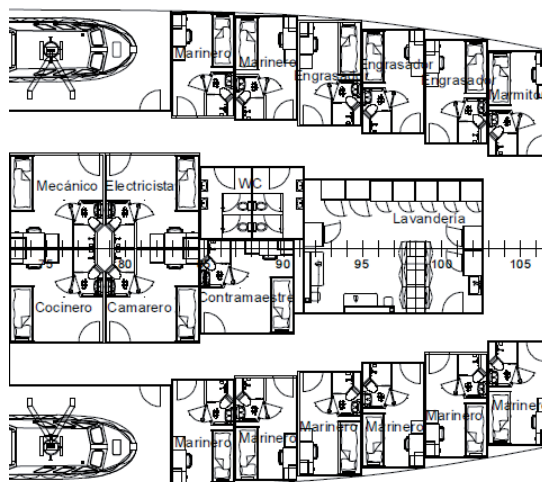


Ilustración 4. Camarotes tripulación

4.1.4. CIENTÍFICOS

La superficie mínima del camarote del personal científico, será de 7 m^2 .

Se dispondrán a lo largo de la cubierta principal, una línea por costado con unas dimensiones de $3 \times 4 \text{ m}^2$, lo que son 12 m^2 ; de esta forma se dará cabida a 14 científicos por banda, un total de 28

El resto de de camarotes de científicos van a situarse a lo largo de la eslora de la cubierta principal, a ambos lados de crujía, con unas dimensiones de $3,6 \times 3,6 \text{ m}^2$, es decir una superficie total por camarote de 13 m^2 .

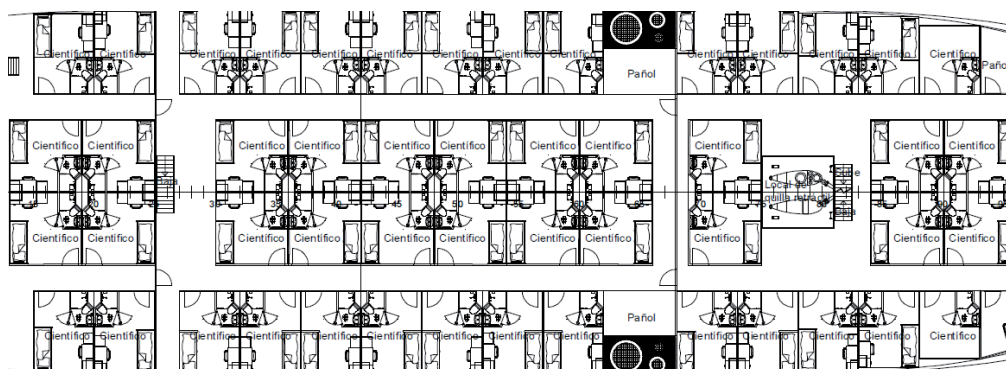


Ilustración 5. Camarotes científicos

4.1.5. OTROS

La superficie mínima del camarote del médico de a bordo será equivalente a la de los oficiales superiores, situándose además en la misma zona que éstos.

4.2. COCINA

La cocina será común para todo el personal a bordo, y estará situada de tal manera que tenga acceso directo a las gambuzas y a los comedores.

La cocina y las gambuzas de disponen en la cubierta superior.

4.3. GAMBUZAS

Las provisiones de alimentación y bebida del buque irán almacenadas en las gambuzas, a las que se accederá a través de un pasillo directamente comunicado con la cocina.

Dichas gambuzas se dividirán en tres, según el tipo de provisiones almacenadas y la temperatura a la que se encuentren

4.3.1. CARNE Y PESCADO

Esta gambuza estará refrigerada a -18°C , y almacenará la carne y el pescado congelados.

Su tamaño será algo superior a la de vegetales, pero inferior a la de provisiones secas, y

contará con paredes aislantes.

4.3.2. VEGETALES

La gambuza de vegetales se mantendrá a una temperatura de aproximadamente 4°C, a fin de mantener su interior refrigerado, al igual que la gambuza anterior, dispondrá de paredes aislantes capaz de mantener la temperatura.

4.3.3. PROVISIONES SECAS

La mayor de las tres gambuzas, con una temperatura controlada de aproximadamente 15°C, almacenará todos los víveres no incluidos en las gambuzas previas.

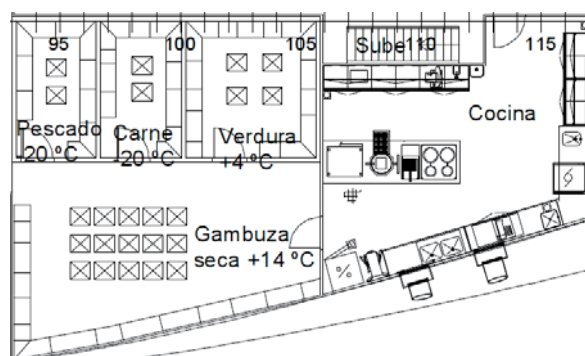


Ilustración 6. Cocina y gambuzas

4.4. COMEDOR

La superficie mínima del comedor será de 1,5m² por persona en cualquier caso.

El buque dispone de tres comedores, el de oficiales, el de tripulación y el de personal científico.

4.4.1. OFICIALES

Los oficiales compartirán comedor con el médico, y ocupará una superficie mínima de:

$$S_{CO} = (N_{oficiales} + N_{otros}) \cdot S_{min} = (8 + 1) \cdot 1,5 = 12m^2$$

Este comedor se situará en la cubierta de tripulación, con una superficie superior a los 35 m².

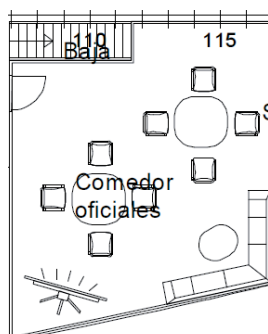


Ilustración 7. Comedor oficiales

4.4.2. TRIPULACIÓN

El comedor de la tripulación tendrá una superficie mínima de:

$$S_{CTyC} = (N_{tripulantes}) \cdot S_{min} = (17) \cdot 1,5 = 25,5m^2$$

Este comedor se situará en la cubierta superior, y sobre la cocina, con una superficie superior a los 25 m².

4.4.3. PERSONAL CIENTÍFICO

El personal científico tendrá su propio comedor, teniendo este una superficie mínima de:

$$S_{CTyC} = N_{cientificos} \cdot S_{min} = 50 \cdot 1,5 = 75m^2$$

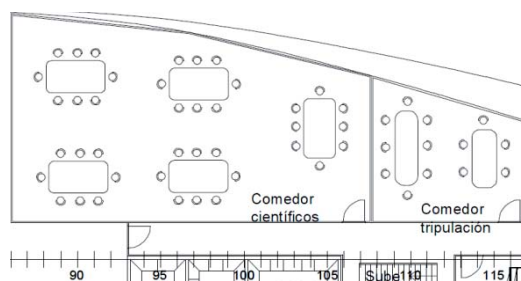


Ilustración 8. Comedor científicos y comedor tripulación

Este comedor se situará en la cubierta superior, con una superficie superior a los 80 m².

4.5. LAVANDERÍA

La lavandería dispondrá como mínimo de:

- a) Máquinas de lavar
- b) Secadoras o tendederos con calefacción y ventilación adecuadas, y
- c) Planchas y tablas de planchar o aparatos equivalentes

Se van a disponer, por tanto, cinco lavadoras y cinco secadoras, además en un armario se encontrará guardada y accesible una plancha y una tablas de plancha plegable.

Este local se encuentra separado del camarote del contraмаestre mediante un espacio vacío o bien relleno de algún material aislante para evitar incomodidades dentro de dicho camarote.

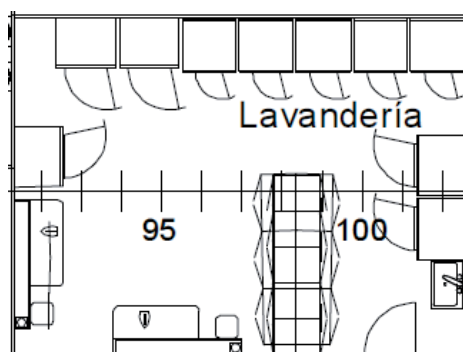


Ilustración 9. Lavandería

4.6. ASEOS

Aparte de los aseos individuales de cada camarote, se dispondrán aseos comunes en el buque, en todas las cubiertas separados para hombres y mujeres, excepto en la cubierta de doble fondo, donde no se dispondrán aseos de uso público.

4.7. OFICINA COMÚN

De acuerdo a la regla 3.1-15 del MLC, todo buque con arque bruto no inferior a 3.000 deberá disponer de al menos una oficina común para el servicio de máquinas y el servicio de cubierta.

Esta sala se dispondrá en la cubierta de oficiales A, y contará con una mesa, sillas y cuatro

ordenadores, más aquello que el personal de a bordo considere oportuno añadir.

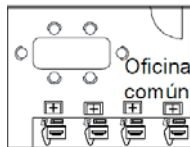


Ilustración 10. Oficina común

4.8. VESTUARIOS

El buque incluirá vestuarios, separados para hombres y mujeres, estos dispondrán de taquillas, un banco corrido y ducha.

Los vestuarios tendrán una entrada desde el gimnasio, y una salida hacia la sauna.

4.9. GIMNASIO

El buque incorporará un gimnasio para uso y disfrute de todo el personal de a bordo, con lo que se diseñará de tal manera que pueda dar cabida a un número elevado de personas al mismo tiempo.

El gimnasio contará con dos accesos, uno dará a los vestuarios y el otro a un área común del buque.

4.10. SAUNA

La sauna, de uso común para todo el personal de a bordo se situará en la misma zona que el gimnasio y los vestuarios, realizándose el acceso a esta a través de los vestuarios.

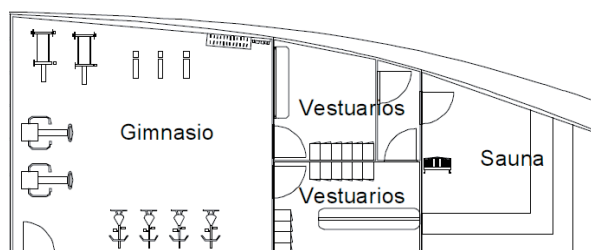


Ilustración 11. Gimnasio, vestuarios y sauna

4.11. SALA DE DESCANSO

La sala de estar supondrá un espacio de ocio y esparcimiento para todo el personal de a bordo, contando con sofás, televisión, mesas y sillas, así como microondas, máquina de café, y aquello que considere oportuno el personal de a bordo.

Se disponen tres salas de descanso, una para oficiales, otra para tripulación y otra para científicos.

4.11.1. OFICIALES

La sala de descanso para oficiales se situará en la cubierta de oficiales A.



Ilustración 12. Sala de descanso, oficiales

4.11.2. TRIPULACIÓN

La sala de descanso para tripulación se situará en la cubierta de tripulación, en la zona de proa.



Ilustración 13. Sala de descanso, tripulación

4.11.3. CIENTÍFICOS

La sala de descanso del personal científico y tripulación se situará en la cubierta de científicos.



Ilustración 14. Sala de descanso, científicos

4.12. BIBLIOTECA

La biblioteca incluirá, además del material de lectura dispuesto en estanterías laterales en las paredes de la sala, dos mesas con sillas en el centro de la sala para la lectura y consulta de los libros o revistas.

Este local se situará en la cubierta inferior.

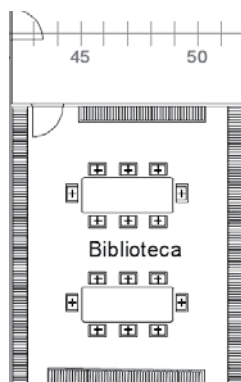


Ilustración 15. Biblioteca

4.13. SALA DE PROYECCIONES

Se dispondrá de una sala de proyecciones común, tanto para fines lúdicos como laborales.

La sala contará con una pantalla de proyección, un proyector suficientemente potente y butacas orientadas hacia la pantalla.

Este local se situará en la cubierta inferior.



Ilustración 16. Sala de proyecciones

4.14. HOSPITAL Y ENFERMERÍA

El local de enfermería contará con espacio y camilla para una persona, así como utensilios necesarios para un correcto cuidado y atención de los enfermos.

Además dispondrá de una sala de aislamiento con baño.

Este local se situará en la cubierta de tripulación.

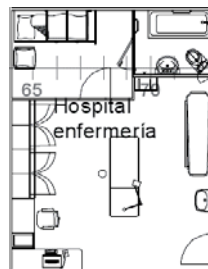


Ilustración 17. Hospital y enfermería

4.15. PAÑOL DE PINTURAS

Este local se considera con riesgo de explosión, por ello se situará alejado de la acomodación, es decir a popa del buque, en la cubierta inferior, y pegado al costado de estribor.

4.16. SALAS DE CONFINAMIENTO

El buque contará con dos salas de confinamiento contiguas e independientes, cada una de las cuales incorporará una litera y un retrete en su interior.

Se encuentran en el extremo de popa de la cubierta inferior.



Ilustración 18. Salas de confinamiento

4.17. LOCAL DE BASURAS

Este local se situará en la cubierta de científicos, bajo la gambuza y contará con una trituradora de basuras, las cuales una vez trituradas, y en caso de que necesiten ser tratadas se moverán al local inmediatamente inferior que incluye una incineradora.

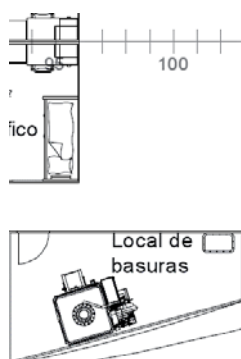


Ilustración 19. Local de basuras

4.18. INCINERADORA

Para tratar los residuos del buque se contará con una incineradora en la cubierta inferior justo debajo del local de basuras, y comunicado mediante una escotilla con este.

4.19. PLANTA POTABILIZADORA

La planta potabilizadora del buque se ha diseñado de acuerdo a las necesidades de potabilización diarias para el personal de a bordo y se situará en la cubierta inferior, a la altura de los tanques de agua dulce, dos cubiertas por encima, es decir en la cubierta inferior, justo a

popa de la incineradora.

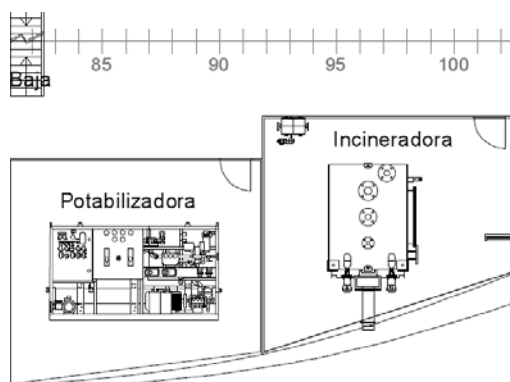


Ilustración 20. Incineradora y planta potabilizadora

5. ZONAS DE TRABAJO

Las zonas de trabajo están referidas a aquellas del buque destinadas a las labores del personal científico de a bordo, y deberán cumplir las especificaciones del proyecto, que son:

- Superficie de zona científica (Hangar y cubierta de trabajo) superior a 1.000 m²
- Superficie de laboratorios superior a 120 m²

Equipamiento mínimo de cubierta:

- Pórtico de popa con capacidad mínima de 20t
- 5 Grúas de las siguientes características:
 - 2 de capacidad 15t a 15m
 - 2 de capacidad 3t a 15 m
 - 1 telescópica de 0,5t a 22 m

5.1. CUBIERTA DE TRABAJO

La cubierta de trabajo corresponde a la parte de la cubierta superior, que se encuentra expuesta a la intemperie, es decir toda la cubierta superior menos lo que pertenece a la superestructura y castillo de proa.

La superficie total de la superficie de trabajo a la intemperie abarca 600 m², y cuenta con una rampa en la popa, simétrica respecto de crujía y de 4 m de ancho, esta rampa se utilizará en las labores de pesca y operaciones del ROV, ayudando al izado de las redes o del aparato mediante el pórtico de popa. Para tal fin se situará un molinete en crujía que se tirará del cable que va a pasar por el pórtico de popa.

En caso de que no se requiera el uso de dicha rampa en alguna campaña concreta, esta podrá



cubrirse con unas planchas dejándola al mismo nivel que el resto de la cubierta de trabajo.

Sobre la rampa, y por especificaciones de proyecto se instalará un pórtico de popa con capacidad de 35 t, superior a las 20 t mínimas especificadas en los requisitos de proyecto.

El pórtico será abatible hacia popa y hacia proa. Además de ayudar en las labores de pesca el pórtico podrá operar un ROV con los soportes adecuados, como ya se ha comentado con anterioridad. El pórtico será de accionamiento hidráulico.

Un tambor a popa del molinete almacenará el cable necesario para operación del ROV, que será además el mismo cable que se usará para enganchar la red durante las labores de pesca.

Adicionalmente, para el manejo del ROV se requiere instalar un tambor con el cable de transmisión de datos del mismo, este se situará estribor del pórtico de popa, ligeramente más a proa del mismo.

A ambos lados del pórtico de popa, correspondientes a los extremos por popa de la cubierta superior a babor y estribor, se situarán dos grúas, una de 3t a 15 m a babor, y otra de 15t a 15m a estribor, a la altura de la cuaderna -4.

De forma igualmente simétrica respecto de crujía se colocarán las otras dos grúas de iguales características, pero estas en un punto más cercano longitudinalmente de la cuaderna maestra, a fin de reducir en la medida de lo posible los momentos y esfuerzos cortantes sobre la estructura del buque, se dispondrán a la altura de la cuaderna 37.

Además estas irán colocadas de forma inversa, es decir la de 3t a 15m en estribor y la de 15t a 15m en babor.

Finalmente, la grúa telescópica de 0,5t a 22 m, cuya función principal será la operación de la roseta tipo CTD para tomar muestras de agua marina, se encuentra situada en el costado de estribor del hangar, sobre el local de la roseta y el laboratorio húmedo.

Para evitar daños sobre el costado del buque se procurará reforzar la zona exterior con riesgo de ser golpeada por la roseta con goma, además se dispondrá un tramo de amura abatible o desmontable para facilitar la deposición de dicha roseta sobre la cubierta.

Se dispondrán soportes para estibar hasta cuatro contenedores de 20' (TEU) dos a babor y otros dos a estribor, sobre la cubierta de trabajo.

Bajo la grúa grande de babor se situará el local de CO₂, y bajo la grúa grande de estribor el pañol de redes.

Bajo las grúas pequeñas se dispondrán dos pañoles de carácter general para equipos de cubierta y pertrechos científicos.

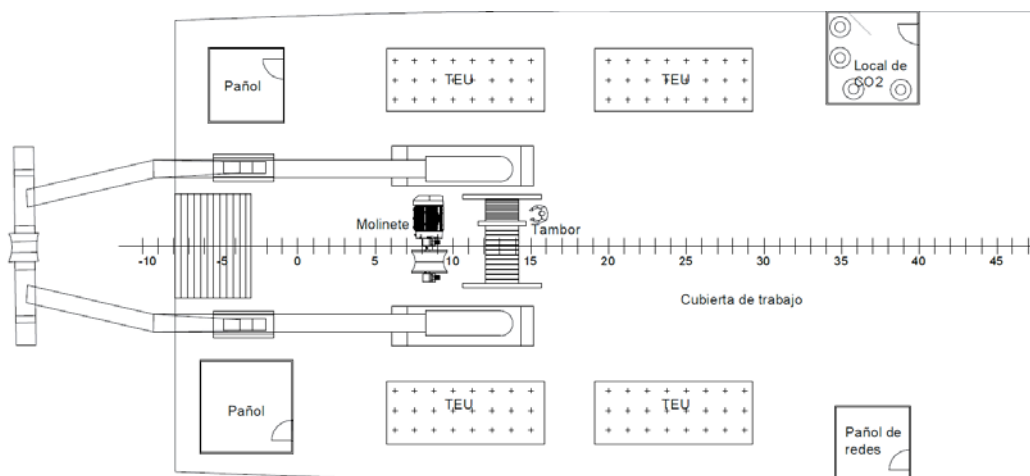


Ilustración 21. Cubierta de trabajo

5.2. HANGAR

Comunicado con la cubierta de trabajo mediante una puerta doble en cruja, se encuentra el hangar. En este se encontrará el ROV mientras no esté en uso. Para facilitar el traslado de dicho aparato hasta la cubierta de trabajo donde se operará con el pórtico de popa, se va a disponer de una escotilla suficientemente grande en la parte superior del hangar, a fin de que las grúas puedan moverlo sin dificultad.

También se instalará una puerta doble de dimensiones suficientes para permitir el movimiento del ROV a través de las mismas con un carro o plataforma rodada si fuera necesario.

La superficie total del hangar es de más de 400 m², luego la suma de la cubierta de trabajo y hangar supera los 1000 m² de superficie de trabajo especificado en los requisitos de proyecto.

5.3. LOCAL DE ROSETA

El local de la roseta estará en estribor, el mismo lateral que la grúa telescópica, y bajo ésta. Este local dispondrá de una salida a cubierta donde la roseta será depositada una vez se haya acabado de operar con ella en el mar, desde ahí se introducirá en el local de rosetas. Habrá también una salida de este local que dé directamente al laboratorio húmedo.

La salida desde este local hacia la cubierta expuesta va a realizarse mediante una puerta con cierre hermético, para evitar la entrada de agua en caso de grandes ángulos de escora.

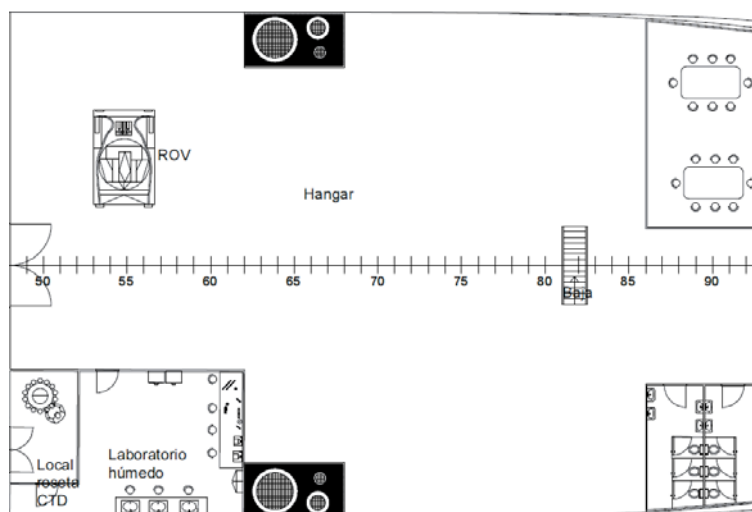


Ilustración 22. Hangar y local de roseta

5.4. LOCAL DE QUILLA RETRÁCTIL

El local de la quilla retráctil almacenará la quilla oceanográfica del buque cuando esta no se encuentre desplegada para tomar datos.

Este local se dispone entre las cuadernas 75 y 81, ocupando desde el fondo del buque hasta la cubierta de científicos.



Ilustración 23. Local de quilla retráctil

5.5. SALA DE CONTROL DEL ROV

Se va a situar en la primera cubierta de oficiales, a popa de esta para tener visión de toda la cubierta de trabajo del buque desde una posición elevada.



Ilustración 24. Sala de control del ROV

5.6. LABORATORIOS

Como ya se ha comentado previamente, por especificaciones de diseño la superficie total de los laboratorios deberá ser superior a 120 m².

Salvo el laboratorio húmedo, situado en la cubierta superior y contiguo al local de rosetas, por motivos logísticos, el resto de laboratorios se encontrarán en la cubierta inferior, a 3,7 metros sobre la línea de base.

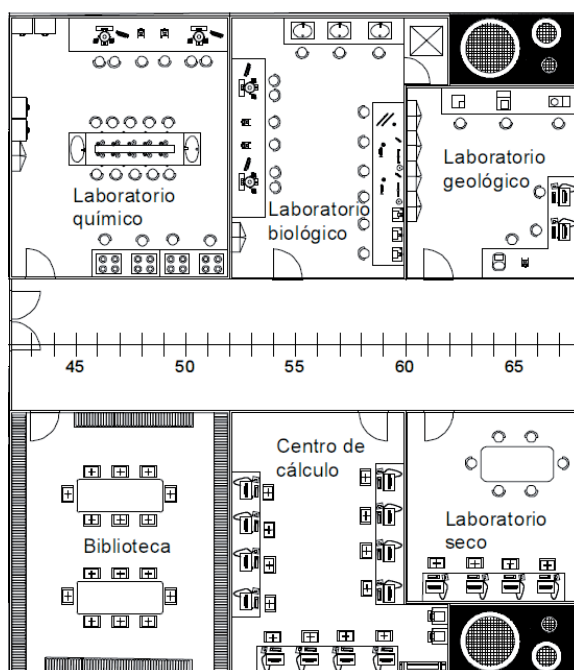


Ilustración 25. Laboratorios

5.6.1. LABORATORIO BIOLÓGICO

Laboratorio con capacidad para análisis biológico de las muestras.



5.6.2. LABORATORIO GEOLÓGICO

Laboratorio con capacidad para análisis geológico de las muestras.

5.6.3. LABORATORIO QUÍMICO

Laboratorio con capacidad para análisis químico de las muestras.

5.6.4. LABORATORIO SECO

El laboratorio seco contará con equipo informático para analizar y registrar los datos de acústica y sondas de la quilla retráctil.

5.6.5. LABORATORIO HÚMEDO

El laboratorio húmedo se sitúa justo a proa del local de roseta, dentro del hangar, y es donde se analizarán las muestras extraídas con la roseta oceanográfica.

5.6.6. LABORATORIO MULTIPROPÓSITO

Se instala un laboratorio multipropósito cuyo equipamiento podrá variar en función del objetivo o misión a la que se destine el buque.

5.6.7. CENTRO DE CÁLCULO

En este laboratorio es donde se controla la red informática que gestiona el buque. Además aquí se realizarán las comunicaciones y transmisión de datos con la red externas de equipos científicos.

5.6.8. LABORATORIO HÚMEDO

Accesible directamente desde el local de rosetas y desde el hangar, se encuentra situado en la cubierta superior.

Este laboratorio es totalmente estanco

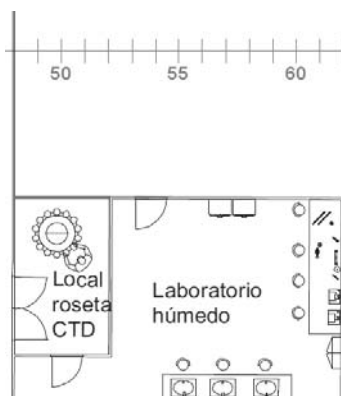


Ilustración 26. Local de roseta CTD y laboratorio húmedo

5.7. PAÑOL CIENTÍFICO

En general los laboratorios incluirán sus propios pertrechos y utensilios, y en caso de necesidad se dispondrán los elementos a almacenar en cualquiera de los diferentes pañoles de carácter general que se encuentran distribuidos en el buque.

No se va a disponer por tanto de un pañol científico propiamente dicho.



6. CÁMARA DE MÁQUINAS Y PLANTA PROPULSORA

Aunque el cuaderno 7 trata en mayor profundidad la distribución y equipos de la cámara de máquinas y planta propulsora, se va a realizar aquí una breve visión general de las mismas.

La cámara de máquinas se situará entre las cuadernas 42 y 68, con una longitud total de 14,4 metros. Ambos mamparos transversales serán estancos.

Además, dado que ocupa toda la manga se va a dividir en dos locales independientes entre sí separados por un mamparo estanco que comunique ambas partes mediante una puerta con cierre hermético. Esto se ha dispuesto así para asegurar el funcionamiento y gobierno del buque aún con una inundación o avería de uno de dichos locales.

Por otra parte, la planta propulsora se divide en dos:

- Planta propulsora principal: situada a popa entre las cuadernas -3 y 11.
- Planta propulsora secundaria: situada justo a popa de la cámara de máquinas, entre las cuadernas 25 y 42.

Todos los mamparos transversales de la cámara de máquinas y plantas propulsoras son estancos hasta la cubierta de cierre.

Se dispondrán dos vías de escape independientes de la cámara de máquinas, una por proa a través de las escaleras situadas a proa del local de la quilla retráctil, y otra a popa, mediante una escala vertical con escotilla situada en el espacio del propulsor secundario.

6.1. GENERADORES PRINCIPALES

El principal local de la cámara de máquinas es donde se sitúan los generadores principales del buque.

Esta sala se dispondrá en la cubierta de doble fondo y en la zona central del buque, ya que de esta manera, debido a su peso por unidad de área podría generar esfuerzos y momentos indeseables en la estructura del buque, además su baja posición colaborará en la reducción de la altura del centro de gravedad, para una mayor estabilidad.

Los generadores instalados, se definen en el cuaderno 7, de acuerdo con las condiciones estudiadas en el cuaderno 9, y van a ser 6 grupos electrógenas Caterpillar C32 de 800 kW cada uno.

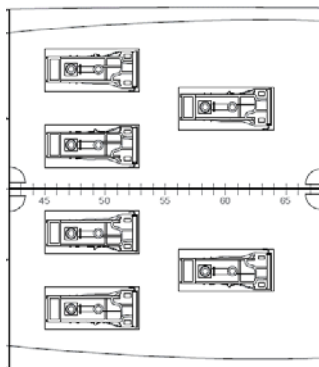


Ilustración 27. Cámara de máquinas, generadores principales

6.2. GENERADOR DE PUERTO

No se va a instalar un generador para puerto concreto, en su lugar se empleará uno de los generadores principales de 800 kW.

6.3. GENERADOR DE EMERGENCIA

A fin de asegurar su funcionamiento incluso en la condición más desfavorable, como naufragio, el generador de emergencia se situará tan alto como sea posible, es decir sobre la cubierta del generador de emergencia, que se encuentra 3,5 metros por encima de la cubierta puente.

Se dispondrán también el cuadro de emergencia y los tanques de combustible para uso diario y aceite de lubricación del generador de emergencia en esta cubierta.

Adicionalmente se ha dispuesto una batería, para el caso de que fallen los otros sistemas.

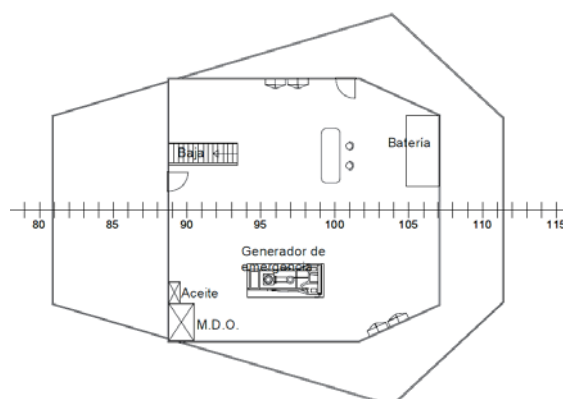


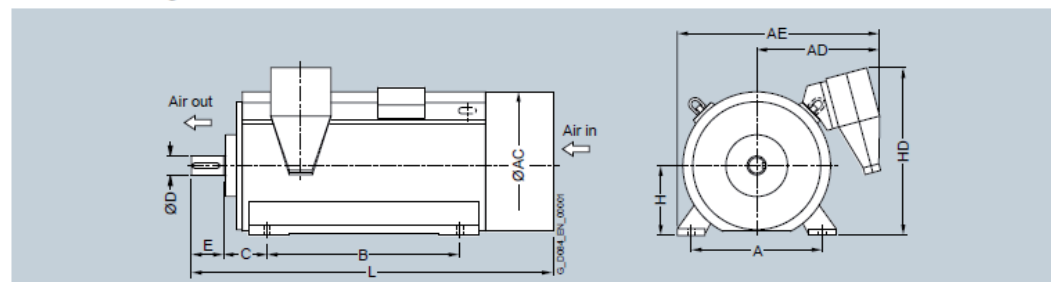
Ilustración 28. Generador de emergencia

6.4. PROPULSORES PRINCIPALES

Los motores eléctricos del sistema propulsor principal se han situado tan cerca de estos como ha sido posible, es decir a popa del buque y en los costados sobre la cubierta principal. Son dos locales independientes, uno por cada propulsor, e incluyen cada una el motor eléctrico modelo H-Compact 1LA4 de 570 kW, fabricado por Siemens y especificado en el cuaderno 6 para estos propulsores así como el sistema de giro y reductora que incorporan los thrusters azimutales. Ambos dispositivos se encuentra unidos por un eje.

Las dimensiones del motor son las del modelo 1LA4 402-6AN.0 de la tabla siguiente:

Dimension drawings (continued)



Motor type	Weight kg	Dimensions										
		A mm	AC mm	AD ¹⁾ mm	AE ¹⁾ mm	B mm	C mm	D mm	E mm	H mm	HD ²⁾ mm	L mm
Up to 6.6 kV, IM B3 type of construction, rolling-contact bearings ³⁾												
4-pole												
1LA4 504-4AN.0	6800	950	1070	875	1440	1320	315	140	200	500	1200	2525
1LA4 560-4CN.0	8200	1060	1210	925	1560	1400	335	160	240	560	1310	2775
1LA4 562-4CN.0	8900	1060	1210	925	1560	1400	335	160	240	560	1310	2775
1LA4 564-4CN.0	9700	1060	1210	925	1560	1400	335	160	240	560	1310	2775
1LA4 632-4CN.0 ⁴⁾	12200	1120	1350	945	1560	1600	335	170	240	630	1410	3015
1LA4 634-4CN.0 ⁴⁾	12800	1120	1350	945	1560	1600	335	170	240	630	1410	3015
1LA4 636-4CN.0 ⁴⁾	13600	1120	1350	945	1560	1600	335	170	240	630	1410	3015
6-pole												
1LA4 314-6AN.0	1950	610	700	710	1075	900	200	90	130	315	860	1810
1LA4 316-6AN.0	2150	610	700	710	1075	900	200	90	130	315	860	1810
1LA4 350-6AN.0	2400	686	780	740	1155	1000	224	100	165	355	930	1985
1LA4 352-6AN.0	2600	686	780	740	1155	1000	224	100	165	355	930	1985
1LA4 354-6AN.0	2850	686	780	740	1155	1000	224	100	165	355	930	1985
1LA4 400-6AN.0	3500	750	870	775	1225	1120	254	120	165	400	1010	2125
1LA4 402-6AN.0	3750	750	870	775	1225	1120	254	120	165	400	1010	2125

Tabla 3. Dimensiones motor eléctrico, propulsores principales

El eje de rotación vertical de los propulsores acimutales se encuentra situado a la altura de la perpendicular de popa.

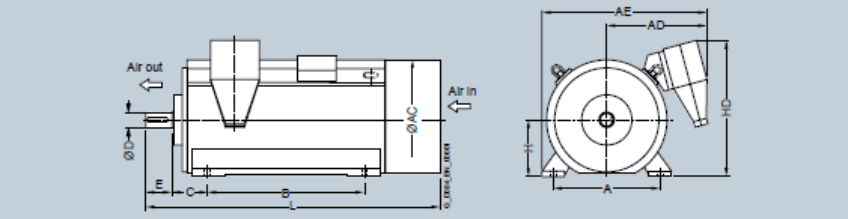
6.5. PROPULSOR AUXILIAR

El propulsor auxiliar se emplea principalmente para la condición de servicio de velocidad máxima del buque, y consiste en un Schottel SPJ-Pump jet.

El local del propulsor auxiliar se sitúa en crujía del buque y a popa de los generadores principales, sobre la cubierta de doble fondo, siendo atravesada ésta en el punto donde el pump jet se sitúa.

Incluye, además del sistema de gobierno del propulsor, un motor eléctrico modelo H-Compact 1LA4 de 2300 kW, fabricado por Siemens definido en el cuaderno 6 para operarlo, conectado a través de un eje.

Las dimensiones del motor son las del modelo 1LA4 634-6CN.0 de la tabla siguiente:



Motor type	Weight kg	Dimensions mm	A	AC	AD ¹⁾	AE ¹⁾	B	C	D	E	H	HD ²⁾	L
Up to 6.6 kV, IM B3 type of construction, rolling-contact bearings ³⁾													
4-pole													
1LA4 504-4AN.0	6800	950	1070	875	1440	1320	315	140	200	500	1200	2525	
1LA4 560-4CN.0	8200	1060	1210	925	1560	1400	335	160	240	560	1310	2775	
1LA4 562-4CN.0	8900	1060	1210	925	1560	1400	335	160	240	560	1310	2775	
1LA4 564-4CN.0	9700	1060	1210	925	1560	1400	335	160	240	560	1310	2775	
1LA4 632-4CN.0 ⁴⁾	12200	1120	1350	945	1560	1600	335	170	240	630	1410	3015	
1LA4 634-4CN.0 ⁴⁾	12800	1120	1350	945	1560	1600	335	170	240	630	1410	3015	
1LA4 636-4CN.0 ⁴⁾	13600	1120	1350	945	1560	1600	335	170	240	630	1410	3015	
6-pole													
1LA4 314-6AN.0	1950	610	700	710	1075	900	200	90	130	315	860	1810	
1LA4 316-6AN.0	2150	610	700	710	1075	900	200	90	130	315	860	1810	
1LA4 350-6AN.0	2400	686	780	740	1155	1000	224	100	165	355	930	1985	
1LA4 352-6AN.0	2600	686	780	740	1155	1000	224	100	165	355	930	1985	
1LA4 354-6AN.0	2850	686	780	740	1155	1000	224	100	165	355	930	1985	
1LA4 400-6AN.0	3500	750	870	775	1225	1120	254	120	165	400	1010	2125	
1LA4 402-6AN.0	3750	750	870	775	1225	1120	254	120	165	400	1010	2125	
1LA4 404-6AN.0	4000	750	870	775	1225	1120	254	120	165	400	1010	2125	
1LA4 450-6AN.0	4600	850	960	825	1340	1250	280	130	200	450	1100	2390	
1LA4 452-6AN.0	4900	850	960	825	1340	1250	280	130	200	450	1100	2390	
1LA4 454-6AN.0	5200	850	960	825	1340	1250	280	130	200	450	1100	2390	
1LA4 500-6CN.0	6400	950	1070	875	1440	1320	315	140	200	500	1200	2525	
1LA4 502-6CN.0	6800	950	1070	875	1440	1320	315	140	200	500	1200	2525	
1LA4 504-6CN.0	7300	950	1070	875	1440	1320	315	140	200	500	1200	2525	
1LA4 560-6CN.0	8500	1060	1210	925	1560	1400	335	160	240	560	1310	2775	
1LA4 562-6CN.0	9300	1060	1210	925	1560	1400	335	160	240	560	1310	2775	
1LA4 564-6CN.0	10100	1060	1210	925	1560	1400	335	160	240	560	1310	2775	
1LA4 632-6CN.0	12700	1120	1350	945	1560	1600	335	180	240	630	1410	3015	
1LA4 634-6CN.0	13400	1120	1350	945	1560	1600	335	180	240	630	1410	3015	
1LA4 636-6CN.0	14100	1120	1350	945	1560	1600	335	180	240	630	1410	3015	

Tabla 4. Dimensiones motor eléctrico, propulsor auxiliar

6.6. SALA DE CONTROL

La sala de control de la cámara de máquinas estará situada en la cubierta inmediatamente superior a donde los generadores están, es decir se situará sobre la cubierta inferior, a proa del mamparo estanco de proa de la cámara de máquinas y pegada al costado de estribor, con una superficie total superior a 40 m².



Ilustración 29. Sala de control

6.7. TALLER

Está situado sobre la cubierta de doble fondo, a proa de la cámara de máquinas y pegado al costado de babor, con una superficie total superior a 30 m².

Contará con utensilios estándar para esta clase de locales: torno, equipo de soldadura y herramientas de trabajo variadas.

6.8. SALA DE EQUIPOS ELÉCTRICOS

Este local se sitúa sobre la cubierta de doble fondo, a proa de la cámara de máquinas y pegado al costado de estribor, con una superficie total superior a 40 m².

Se incluyen en él tanto los cuadros eléctricos como los transformadores.

6.9. HÉLICES TRANSVERSALES DE PROA

El local de las hélices transversales de proa se encuentra sobre la cubierta de doble fondo, a

proa de la cámara de máquinas ocupando toda la manga entre las cuadernas 105 y 123.

En este local el doble fondo se eleva 0,75 metros más, es decir queda a 1,75 metros sobre la línea de base, además los motores que accionan el movimiento de estas hélices pueden ser operados en su zona superior desde la cubierta inferior, entre las cuadernas 107 y 118 se encontrará un local en cuya cubierta una abertura comunica el local con la sala de las hélices transversales de proa.

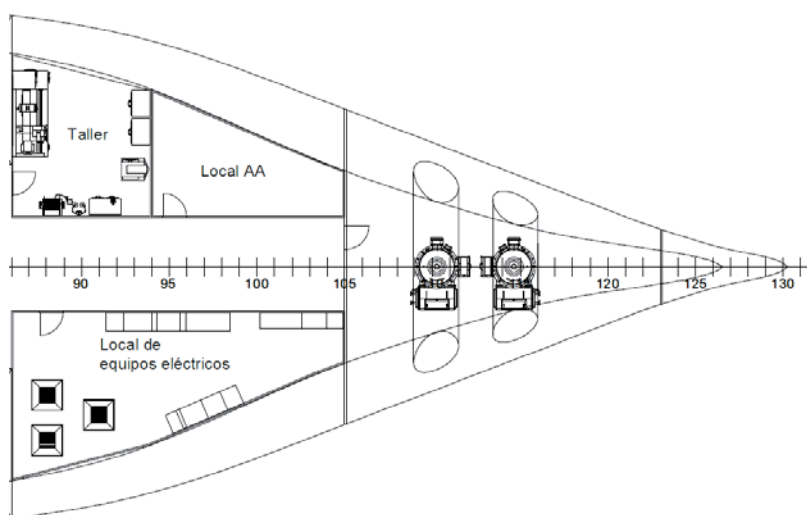


Ilustración 30. Locales auxiliares de CCMM y propulsores transversales de proa

6.10. LOCAL DE CO₂

Como ya se ha explicado, este local se sitúa sobre la cubierta de trabajo y bajo la grúa de 15t a 15 m de babor.

6.11. LOCAL DE AIRE ACONDICIONADO

Dispuesto a proa del taller, cuenta con una superficie superior a 30 m².

7. PUENTE DE MANDO

El puente de mando se sitúa en la superestructura, sobre la habitación.

Incluirá todos los dispositivos de control y sistemas de comunicaciones necesarios y estipulados por el reglamento SOLAS en su capítulo IV.

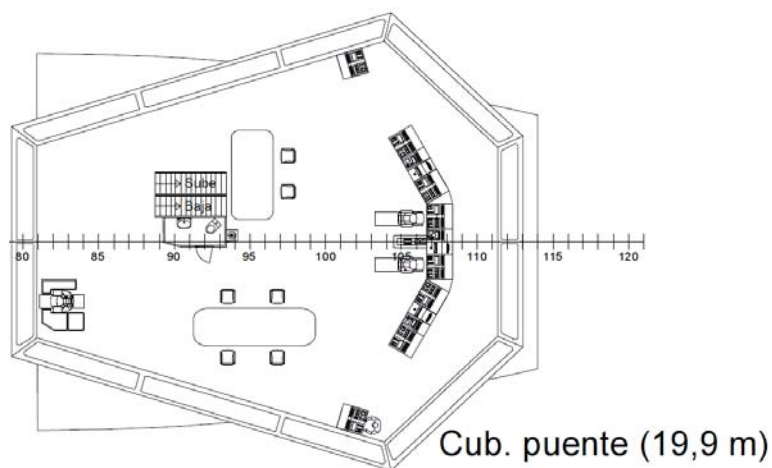


Ilustración 31. Puente de mando



8. FONDEO Y AMARRE

Los aparejos de fondeo y amarre se definen en el cuaderno 8, de acuerdo a las directrices de la sociedad de clasificación Bureau Veritas.

8.1. AMARRE

Se dispondrán dispositivos de amarre en proa y en popa.

Los dispositivos de amarre en la proa se dispondrán en el castillo, incluyendo bitas, cabestrantes y molinetes.

Se instalará asimismo una gatera para remolque por proa.

8.2. FONDEO

Las anclas permanecerán colgadas del buque por la parte exterior del casco, resguardadas en zona protegida.

El número de anclas y sus características se definen en el cuaderno 8, resultando tres anclas de 3060 kg cada una, una por cada banda y la tercera de respeto en cubierta.

8.2.1. CAJAS DE CADENAS

Las cajas de cadenas se situarán en proa cerca de ambos costados, bajo la cubierta superior, y con un volumen suficiente para almacenar las cadenas cuando las anclas se encuentren recogidas, más unos márgenes de seguridad estipulados.

El volumen de la caja de cadenas se define como:

$$V_{CC} = 0,082 \cdot d^2 \cdot L \cdot 10^{-4}$$

Donde d es el diámetro de la cadena y L su longitud, que se calculan en el cuaderno 8, luego:

$$V_{CC} = 0,082 \cdot 50^2 \cdot 495 \cdot 10^{-4} = 10,15 \text{ m}^3$$

Falta por añadir al volumen calculado, el espacio para drenado y cadena de caída a la caja, siendo 0,8 metros en la zona superior para la caída de la cadena y 0,4 metros en la zona inferior para el drenado.

Las cajas de cadenas se dispondrán entre la cubierta inferior y la cubierta superior, haciendo un total de 5,4 metros de altura de caja de cadenas.

Resulta fácil hallar el área base de la caja de cadenas como:

$$A_{cc} = \frac{10,15}{5,4 - 0,8 - 0,4} = 2,4 \text{ m}^2$$

Y por tanto el volumen real de la caja de cadenas que será:

$$V_{cc \text{ final}} = 2,4 \cdot 5,4 = 13 \text{ m}^3$$

Estos espacios se diseñarán de forma cilíndrica para facilitar la estiba y desestiba de las cadenas.

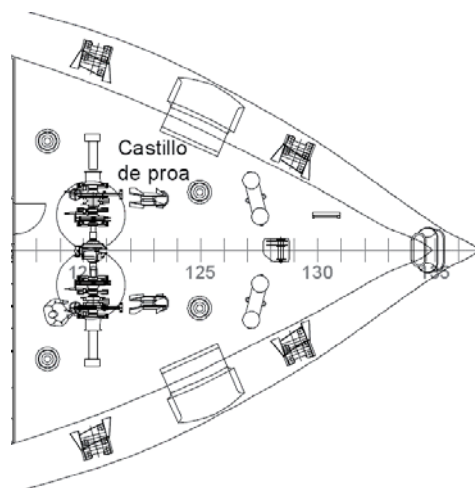


Ilustración 32. Castillo de proa

9. SALVAMENTO Y EVACUACIÓN

Los medios y dispositivos de salvamento y evacuación quedan definidos en el cuaderno 8, de acuerdo al capítulo III del SOLAS.

Se adjunta una imagen donde se han resaltado en rojo la situación de las balsas salvavidas y botes de rescate, para ambos dispositivos la distribución a babor es idéntica.

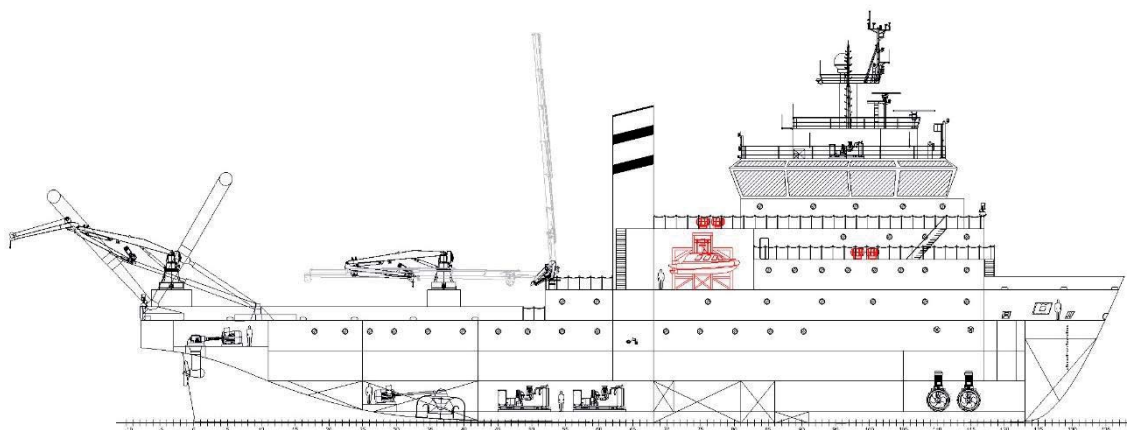


Ilustración 33. Dispositivos de salvamento, balsas y botes salvavidas



10. DISPOSICIÓN Y VOLUMEN DE TANQUES

A la hora de diseñar los tanques conviene tener en cuenta una serie de características importantes de los mismos:

Se distribuirán tan simétricamente respecto de crujía como nos lo permita el buque, evitando de esta manera graves desequilibrios en el reparto de pesos del mismo.

Es importante reducir o evitar, en la medida de lo posible las superficies libres que afectaría negativamente a la altura metacéntrica GM y por lo tanto a la estabilidad del buque, mediante un mayor compartimentado.

Las capacidades de los buques, si bien tienen que cumplir los requisitos de diseño, nunca deberán para tal fin, entrar en conflicto con el reglamento exigido por el SOLAS o la sociedad de clasificación correspondiente (BV).

Sus extremos coincidirán en su posición con las cuadernas de la estructura definidas al comienzo de este cuaderno, para mayor seguridad, y longitudinalmente con las vagras cuando sea posible.

Se va a considerar una permeabilidad uniforme de valor 98% para todos los tanques, excepto para los de combustible, que será del 95%, debido a los gases se deja un margen del 3% en el llenado.

Las restricciones o limitaciones específicas de cada tipo de tanque se especificarán cuando se hable de los correspondientes.

La autonomía en días se va a fijar teniendo en cuenta dos requisitos de diseño concretos:

- 20.000 millas náuticas de autonomía
- 11 nudos de velocidad económica de servicio

De acuerdo a estos dos puntos, se supone la autonomía en días como sigue:

$$Autonomía (días) = \frac{Autonomía (mn)}{v_e \left(\frac{mn}{h}\right) \cdot 24 \left(\frac{h}{día}\right)} = \frac{20000}{11 \cdot 24} = 75,75 \approx 76 \text{ días}$$

10.1. TANQUES DE AGUA DULCE

Los tanques de agua dulce deberán estar separados por cofferdams si se encuentran adyacentes a los tanques de combustible. En este caso, no es necesario pues no se encuentran adyacentes a ningún espacio con combustible o derivados que puedan contaminar el agua en



caso de fuga o trasvase.

Para el cálculo de volúmenes de los tanques de agua dulce se han tenido en cuenta tanto el número de personas a bordo como el consumo diario estimado por persona más un pequeño margen, ya que el buque contará con una planta potabilizadora capaz de generar en 24 horas al menos el consumo diario del personal de a bordo.

Se ha considerado un consumo por persona de 160 litros por día, el cálculo del volumen de agua dulce resulta sencillo, incluyendo tanto consumos personales como de laboratorios:

$$V_{AD} = \text{Consumo diario} \cdot n^{\circ} \text{ personas} = 160 \cdot 75 = 12.000 \text{ l} = 12 \text{ m}^3$$

Se aplicará una margen de seguridad de un 10% y una permeabilidad del 98%:

$$V_{AD} = \frac{12 \cdot 1,1}{0,98} = 13,47 \text{ m}^3 \approx 13,5 \text{ m}^3$$

Para mayor seguridad, se va a disponer de un tanque simétrico de agua dulce adicional con el mismo volumen, de tal forma que una vez uno haya sido consumido, mientras se rellena con la planta potabilizadora se emplee el otro.

Finalmente se han dispuesto dos tanques simétricos respecto de crujía de $14,2 \text{ m}^3$ cada uno, entre las cuernas 103 y 123, de tal forma que en popa se encuentran separados de los tanques de marine diesel oil por un cofferdam de 0,6; y por proa coinciden con el mamparo de colisión.

10.2. TANQUES DE COMBUSTIBLE (MDO)

El volumen de combustible a bordo se ha realizado de acuerdo a los requisitos de autonomía del proyecto, que como ya se ha indicado son 76 días, es decir 1.824 horas, para una velocidad de 11 nudos.

En estas condiciones, de acuerdo a lo estipulado en el cuaderno 7, se van a emplear seis grupos generadores Caterpillar C32.

Sabiendo que la autonomía fijada de proyecto es para la velocidad de 11 nudos y que en dicha condición se utilizarán tres grupos generadores al 73,9% de carga, se va a calcular el consumo



de cada uno de ellos.

Como se conoce el consumo correspondiente a cada condición de carga:

CAT C32	
Carga (%)	Consumo (L/h)
50	108,6
75	155,6
100	206,6

Tabla 5. Consumos C32

Resulta sencillo interpolar para la condición de 73,9% el consumo una vez hecha la recta de regresión correspondiente:

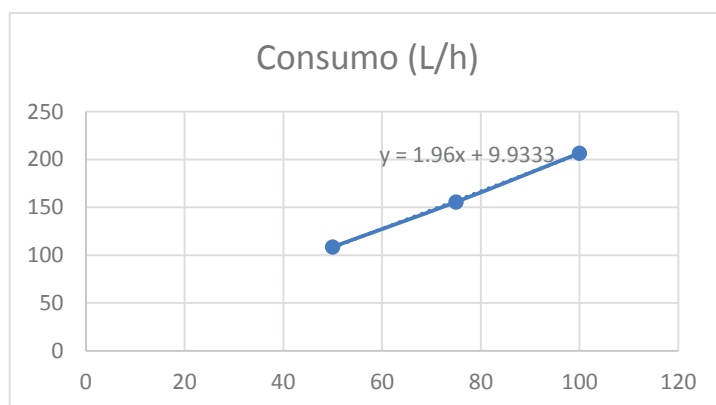


Ilustración 34. Gráfica de consumos C32

El valor obtenido es 154,8 l/h; es decir $\sim 0,155 \text{ m}^3/\text{h}$ para cada uno de los dos grupos generadores activos en esta situación.

Se va a calcular el volumen total de combustible teniendo en cuenta que el buque pueda volver a puerto con un 10% de la capacidad total.

Resulta trivial pues, estimar el volumen de combustible necesario a bordo para garantizar la autonomía fijada:

$$V_{MDO} = \text{Consumo} \cdot \text{autonomía (horas)} \cdot \text{margen} = 3 \cdot 0,155 \cdot 1824 \cdot 1,1 = 933 \text{ m}^3$$



Sabiendo que para los tanques de combustible se tiene en cuenta una permeabilidad del 95%, el volumen total de los tanques de marine diésel oil, sin incluir el del grupo de emergencia será como mínimo:

$$V_{TQS\ MDO} = \frac{933}{0,95} = 982,1\ m^3$$

10.3. TANQUES DE SERVICIO DIARIO

Los tanques de servicio diario de combustible tienen la capacidad correspondiente al combustible que usará el buque durante un día en sus motores.

En este caso, y de acuerdo a lo estipulado en el SOLAS *Capítulo II-1, Parte C, Regulación 26.11*:

“Se ha de disponer de dos (2) tanques de servicio destinados a cada tipo de combustible utilizado a bordo para los servicios esenciales, o medios equivalentes.”

10.3.1. GENERADORES PRINCIPALES

Se van a colocar dos tanques de servicio diario con una capacidad mínima cada uno del máximo de los siguientes valores:

- 24 horas de funcionamiento a velocidad económica

$$V_{SDV_{eco}} = t \cdot consumo \cdot n^{\circ} de\ gen.\ sets = 24 \cdot 0,155 \cdot 3 = 11,2\ m^3$$

- 12 horas de funcionamiento a velocidad máxima.

$$V_{SDV_{max}} = t \cdot consumo \cdot n^{\circ} gen.\ sets = 12 \cdot 0,207 \cdot 6 = 14,9\ m^3$$

Se toma por tanto el segundo valor, algo más restrictivo como volumen mínimo de cada



tanque de servicio diario, aplicando una permeabilidad del 0,95 se obtendrá un volumen de:

$$V_{diarioGGPP} = \frac{14,9}{0,95} = 15,7 \text{ m}^3$$

Se han dispuesto dos tanques de 20,25 m³, valor superior al mínimo calculado, y por tanto válido.

Se sitúan entre las cuadernas 68 y 73, simétricos respecto de crujía, y a un metro de esta.

10.3.2. GENERADOR DE EMERGENCIA

De acuerdo a la misma teoría que se ha seguido en el punto anterior, pero para el consumo del generador de emergencia, definido en el cuaderno 7 basado y en los datos del cuaderno 9, se ha elegido un CAT C18, cuyo consumo es notablemente menor, de 0,102m³/h quedará un volumen de combustible diario para el generador de puerto como el que se expone a continuación, repitiendo los mismos pasos pero adecuados al consumo del generador de emergencia:

$$V_{diarioGPT} = \frac{0,102 \cdot 24}{0,95} = 2,58 \text{ m}^3$$

10.4. TANQUES PRINCIPALES DE MDO

Al valor del combustible total calculado habrá que deducirle el de los tanques de servicio diario correspondientes a los grupos principales obtenidos en el apartado anterior, y que resultan 17,01 m³ por tanque, siendo 2 tanques diferentes quedará:

$$V_{MDO} (\text{almacén}) = 982,1 - 2 \cdot 20,25 = 941,6 \text{ m}^3$$

Dicho valor ya incluye la permeabilidad del 95% para tanques de combustible, por incluirlo así



los valores con que se ha calculado.

Finalmente se distribuirán tanques con un valor total acumulativo de 955,8 m³ a bordo del buque, que será suficiente para asegurar la autonomía exigida, ya que es superior al mínimo calculado y además se ha añadido anteriormente un margen del 10% a los consumos, luego esta autonomía está diseñada para volver a puerto con 10% del combustible sin utilizar.

Este volumen de combustible se repartirá en diferentes tanques de almacenaje, de tal forma que sus mamparos longitudinales coinciden con las vagras y los transversales con las cuadernas, tal y como se puede observar en el plano de distribución general.

10.5. TANQUE DE REBOSES

En este tanque descargan todas las bandejas en las que se recogen los reboses de aquellos equipos que pueden verter hidrocarburos. El combustible que en él se recoge puede ser trasgado al tanque de sedimentación, ser aspirado directamente por las depuradoras o ir al incinerador de residuos.

El volumen de este tanque tiene que ser al menos el mismo al que pasa por la bomba de trasiego durante 10 minutos de funcionamiento, especificada en el cuaderno 7. Se aplicará un coeficiente de seguridad del 15%, es decir:

$$V_{rebores} = 1,15 \cdot \frac{8,4}{60/10} = 1,61 \text{ m}^3$$

Este tanque se situará en el doble fondo, bajo la cámara de máquinas, entre las cuadernas 58 y 61, con un volumen total de 2,9m².

10.6. TANQUES DE ACEITE LUBRICANTE

Este tanque se situará en el doble fondo, bajo la cámara de máquinas.

Durante la navegación los generadores consumen aceite y necesitan que este se renueve, para ello se disponen los tanques de aceite lubricante, que además de incluir aceite suficiente para hacer frente al consumo del motor, llevan aceite suficiente para un cambio de aceite completo del motor

En este caso se va disponer de aceite suficiente para hacer frente al consumo de aceite de tres



generadores principales, y tres cambios de aceite completos, puesto que es lo correspondiente a la velocidad de servicio.

El consumo de aceite es, según especificaciones del fabricante: 0,112 L/hr al 75% de carga, luego, para tres grupos electrógenos:

$$V_{aceite\ consumido} = 3 \cdot \frac{0,112}{1000} \cdot 1824 = 0,613\ m^3$$

A esto se le sumará el valor correspondiente a la renovación completa del aceite de tres grupos, que son 99 litros por generador, es decir 0,297 m³ para los dos.

En total, sumando un 20% de margen y teniendo en cuenta una permeabilidad de 0,98 se tiene:

$$V_{aceite\ min} = 1,2 \cdot \frac{0,613 + 0,297}{0,98} = 0,93\ m^3$$

Para los grupos generadores principales, se ha dispuesto finalmente un tanque bajo cámara de máquinas entre las cuadernas 52 y 54, y coincidiendo con un refuerzo longitudinal. Su capacidad es de 1,44 m³, lo que añade un margen notable.



Grupo electrógeno abierto - - 1500 rpm/50 Hz/400 Voltios		DM9952	
Bajo consumo de combustible			
Rendimiento del paquete del grupo electrógeno			
Clasificación de potencia del grupo electrógeno a 0,8 fp		1000 kVA	
Clasificación de potencia del grupo electrógeno con ventilador		800 kW	
Consumo de combustible			
Carga del 100% con ventilador		206.7 L/H	54.6 Gal/h
Carga del 75% con ventilador		155.5 L/H	41.1 Gal/h
Carga del 50% con ventilador		108.5 L/H	28.7 Gal/h
Sistema de enfriamiento ¹			
Restricción del flujo de aire (sistema)		0.12 kPa	0.48 Agua (pulgadas)
Capacidad del refrigerante del motor		55.0 L	14.5 gal
Aire de admisión			
Caudal de la admisión de aire de la combustión		60.3 m³/min	2129.5 pies³/min
Sistema de escape			
Temperatura del gas del tubo de escape		509.3 °C	948.7 °F
Caudal del gas de escape		165.0 m³/min	5826.9 pies³/min
Tamaño de brida de escape (diámetro interno)		203 mm	8 pulg
Contrapresión del sistema de escape (máxima permisible)		10.0 kPa	40.2 Agua (pulgadas)
Rechazo de calor			
Rechazo del calor al refrigerante (total)		300 kW	17061 Btu/min
Rechazo del calor al escape (total)		757 kW	43050 Btu/min
Rechazo del calor al posenfriador		148 kW	8417 Btu/min
Rechazo del calor a la atmósfera del motor		108 kW	6142 Btu/min
Rechazo del calor a la atmósfera del generador		50.2 kW	2854.9 Btu/min
Alternador ²			
Capacidad de arranque del motor con caída de voltaje del 30%		2297 skVA	
Armazón		1402	
Aumento de temperatura		125 °C	225 °F
Sistema de lubricación			
Relleno del sumidero con filtro		99.0 L	26.2 gal
Emisiones (normales) ³			
NOx mg/nm³		2967.7 mg/nm³	
CO mg/nm³		316.8 mg/nm³	
HC mg/nm³		7.5 mg/nm³	
PM mg/nm³		17 mg/nm³	

Tabla 6. Características técnicas, C32

10.7. TANQUES DE ACEITE SUCIO

Este tanque dispondrá de un volumen mínimo igual que la capacidad de los generadores principales, ya que en caso de necesidad de renovación completa de lubricante de los generadores será aquí donde se trasiegue el aceite contaminado, luego se va a diseñar con el mismo volumen que el tanque de aceite, adyacente al mismo por popa, entre las cuadernas 50 y 52.

$$V_{aceite\ sucio} = 1,44\ m^3$$

10.8. TANQUES DE LODOS

Este tanque se situará en el doble fondo, bajo la cámara de máquinas.

De acuerdo a lo estipulado en el MARPOL, anexo I, regla 17-1, los tanques de fangos en buques que no lleven agua de lastre en los tanques de combustible líquido el volumen de estos tanque se calculará de acuerdo a la expresión:



$$V_{Lodos} = k_1 \cdot C \cdot D$$

Siendo $k_1=0,005$ para buques en los que se utilice diesel oil como es nuestro caso, C el consumo diario de combustible en toneladas métricas y D el periodo máximo en días de travesía entre dos puertos de descarga, que en este caso se va a tomar como el tiempo de autonomía, 76 día, entonces:

$$V_{Lodos} = 0,005 \cdot (3 \cdot 0,155 \cdot 24 \cdot 0,84) \cdot 75 = 3,52 \text{ m}^3$$

$\rho=0,84 \text{ t/m}^3$ es la densidad del MDO.

Si bien esta misma normativa especifica que:

“Cuando tales buques estén provistos de homogeneizadores, incineradores de fangos u otros medios reconocidos para la eliminación de fangos a bordo, la capacidad mínima del tanque de fangos (V_1) será, en lugar de la antedicha, la siguiente: $V_1 = 1 \text{ m}^3$ para buques de arqueo bruto igual o superior a 400 toneladas pero inferior a 4 000 toneladas, o 2 m^3 para buques de arqueo bruto igual o superior a 4 000 toneladas”

Igualmente la incineradora instalada en la cubierta inferior tiene capacidad para quemar lodos, con que este tanque en principio está sobredimensionado, para la situación de fallo de este sistema de incineración.

Se ha situado entre las cuadernas 54 y 58, con un volumen de $3,9 \text{ m}^3$.

10.9. TANQUE DE AGUAS GRISES

Este tanque se situará en el doble fondo, bajo la cámara de máquinas.

El volumen total de este tanque tendrá como mínimo el volumen correspondiente a las aguas grises generadas a bordo, que será la estimada como consumo de agua dulce diaria, es decir su volumen será el mismo que el de un tanque de agua dulce:

$$V_{AG} = 13,5 \text{ m}^3$$

Su disposición a bordo será en el doble fondo, bajo la cámara de máquinas y a popa de esta, coincidiendo con las cuadernas 58 y 65 así como con el refuerzo longitudinal de babor y de



crujía.

10.10.TANQUE DE AGUAS NEGRAS

Este tanque se situará en el doble fondo, bajo la cámara de máquinas.

Aunque las aguas negras se van a tratar a bordo, puede ocurrir por diversos factores que esta no pueda ser tratada o bien deba almacenarse en el buque.

Para esto se va a instalar un tanque con capacidad suficiente para las aguas negras generadas a bordo, que se van a estimar en un tercio del agua dulce consumida diariamente, incluyendo el margen de seguridad, es decir:

$$V_{AN} = \frac{13,5}{3} = 4,5 \text{ m}^3$$

Se sitúa adyacente por popa al tanque de aguas grises, entre las cuadernas 54 y 58.

10.11.TANQUES DE SENTINA

Este tanque se situará en el doble fondo, bajo la cámara de máquinas, y almacenará el agua sucia de sentinas hasta que se acumule la cantidad suficiente para arrancar el separador de sentinas (que se define en el cuaderno 8).

Como la capacidad del separador es de $725 - 415 = 310$ kg de aceite, y conociendo la densidad de este: $0,9 \text{ t/m}^3$; se define la capacidad de este tanque como al menos $0,310/0,9=0,3445 \text{ m}^3$.

Se situará entre las cuadernas 61 y 65.

10.12.TANQUES DE LASTRE

Se dispondrá un tanque de lastre en el pique de proa, para las situaciones de carga intermedias en las que el peso de las grúas y maquinaria a popa pueda generar algo de trimado.

Dicho tanque ocupará un espacio desde la línea de base hasta una altura de 7,5 metros, desde



la cuaderna 123 hasta el límite del casco por proa, con un volumen total de 54,3 m³.

11.FLUJOS

Se definen a continuación los flujos del buque más representativos, adjuntándose estos en el anexo 3.

11.1. FLUJO DE APROVISIONAMIENTO DE ALIMENTOS

Una vez se sitúan en cubierta las provisiones, por ejemplo a través de TEUs, estas se llevan a las gambuzas a través del hangar y la cocina, donde quedarán almacenadas hasta que sea necesario su uso.

11.2. OPERACIÓN DEL ROV

Para la puesta a flote del ROV es necesario primero llevarlo hasta un punto en el que pueda engancharse al cable del pórtico de popa, para ello se moverá desde el hangar donde normalmente está almacenado a través de la grúa de 15 toneladas de babor, sacándolo de dicho local a través de una escotilla en la parte superior del hangar.

Una vez se saque se moverá hasta un punto a proa del molinete y tambor de la cubierta de trabajo, donde se enganchará en la otra grúa de 15 toneladas, situada en el costado de estribor y a popa, que hará el movimiento final hasta un punto entre el molinete y el pórtico de popa, donde el enganche a este último sea sencillo, para así poder operarlo.

El flujo de recogida del vehículo es justo el inverso.

11.3. FLUJO DE EVACUACIÓN

El flujo de evacuación se ha estudiado desde todas las cubiertas y hasta los botes salvavidas, pasando en algunos casos por las balsas salvavidas para poder activarlas manualmente, sin embargo como estas balsas tienen un sistema de zafra hidrostática, se activan automáticamente en caso de naufragio lo más prioritario es llegar a los botes de rescate.

Se propone un plan de evacuación donde se han marcado los caminos secundarios de evacuación para activar las balsas salvavidas.





12.CONCLUSIONES

Se han dimensionado los tanques del buque, de acuerdo a las normativas aplicables, cumpliendo en todos los casos con estas normas en cuanto a volúmenes mínimos y disposición de dichos tanques.

Adicionalmente, se han definido los diferentes espacios del buque de acuerdo a las especificaciones de proyecto y normativa o recomendaciones para tal efecto. En todos los casos se ha cumplido con los requisitos.

Finalmente el análisis de flujos demuestra la eficiencia y correcto movimiento de personal y elementos a bordo.

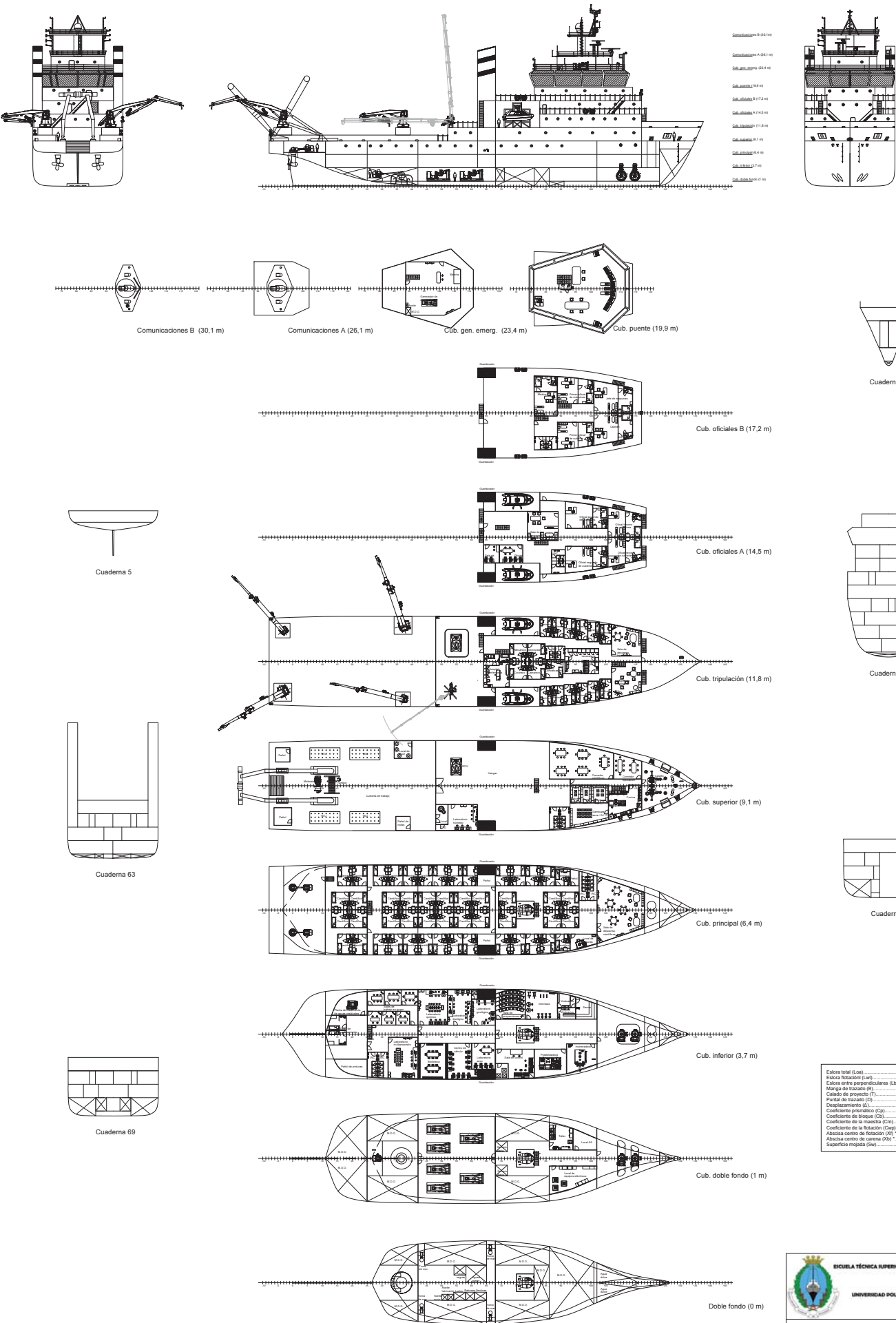


13.BIBLIOGRAFÍA

- [1] MEIZOSO FERNÁNDEZ, MANUEL; ALVARIÑO CASTRO, RICARDO; AZPÍROZ AZPÍROZ, JUAN JOSÉ. *“El Proyecto Básico del Buque Mercante”*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval, 1997
- [2] *“International Conference in Load Lines, 2005 Consolidated Edition”*, International Maritime Organization.
- [3] *“SOLAS”*, International Maritime Organization, 1974.
- [4] *“Convenio sobre el trabajo marítimo (MLC)”*, International Labour Organization, 2006.
- [5] *“MARPOL”*, International Maritime Organization, 1973/78.
- [6] *“Rules for the Classification of Steel Ships”*, Bureau Veritas, 2015.



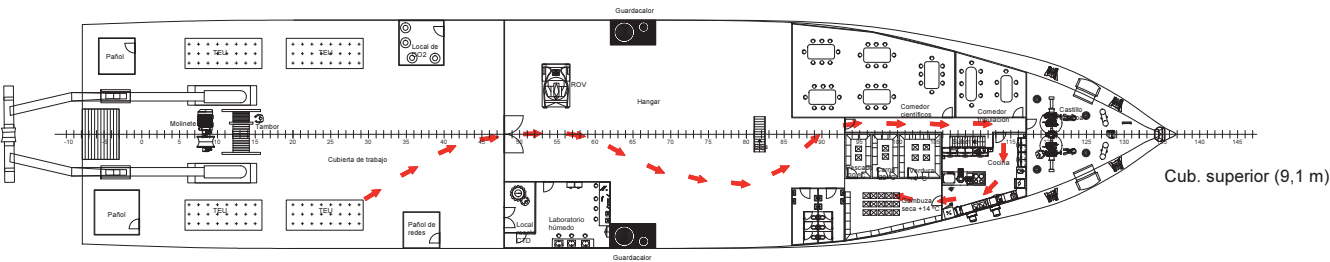
14.ANEXO 1: PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL





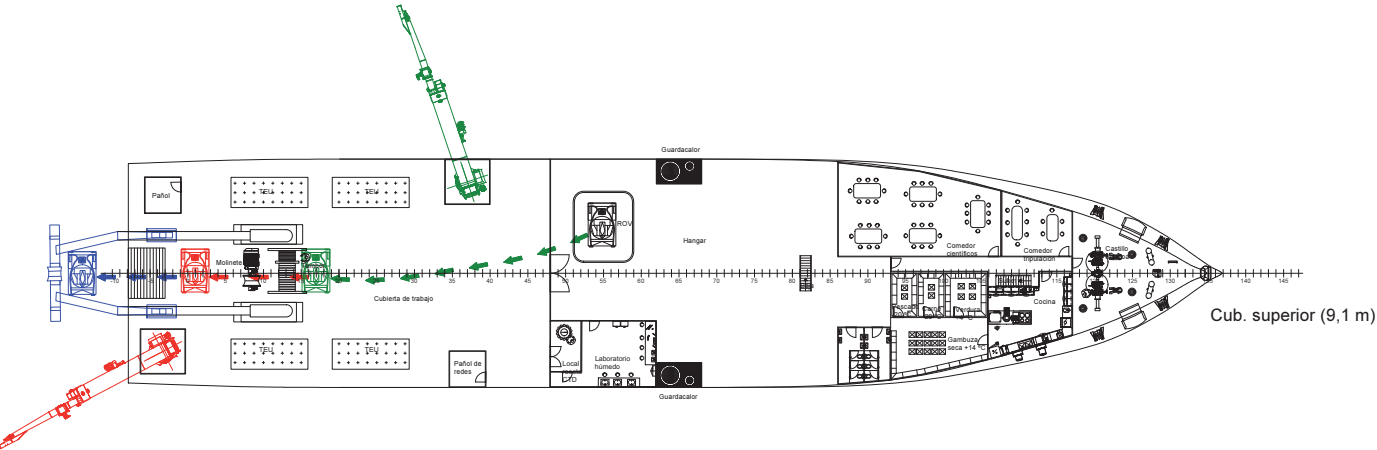
15.ANEXO 2: FLUJOS

PFC N° 252: BUQUE OCEANOGRÁFICO 7000 T

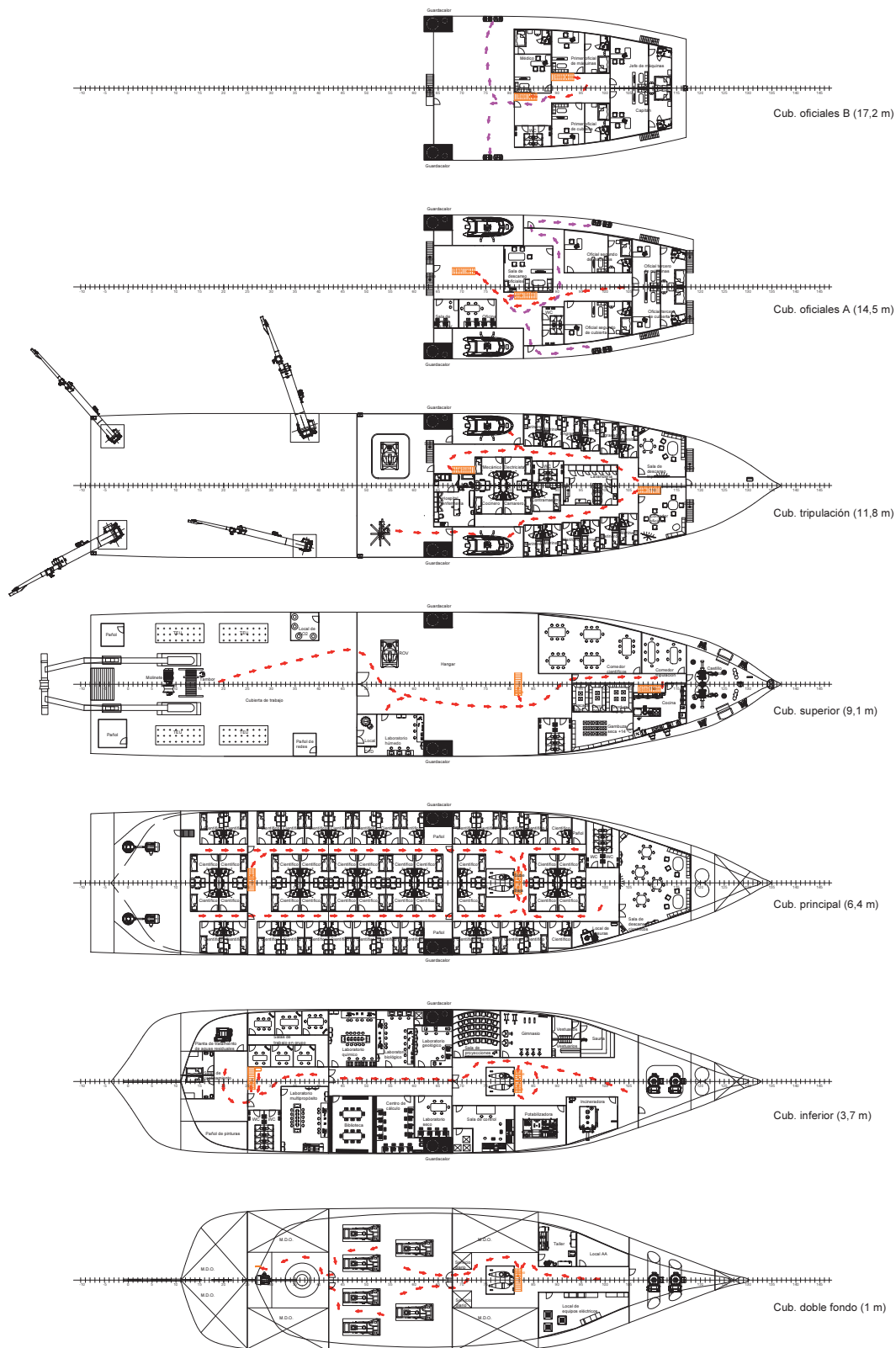


<div><div>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES</div><div>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID</div></div>			
APROVISIONAMIENTO	Plano: 402	Escala: 1:300	Formato: A3
Alumno: Alejandro Rodríguez Rodríguez			Fecha: 21/05/2015
Tutor: Eloy J. Carrillo Hontoria			Hoja: 1 de 1

PFC Nº 252: BUQUE OCEANOGRÁFICO 7000 T



<div><div>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES</div><div>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID</div></div>			
FLUJO ROV	Plano: 403	Escala: 1:300	Formato: A3
Alumno: Alejandro Rodríguez Rodríguez			Fecha: 21/05/2015
Tutor: Eloy J. Carrillo Hontoria			Hoja: 1 de 1



 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID			
	EVACUACIÓN		
Plano:	404	Escala:	1:400
Formato:	A2		
Alumno:	Alejandro Rodríguez Rodríguez		Fecha:
			21/05/2015
Tutor:	Eloy J. Carrillo Hontoria		Hoja:
			1 de 1



PROYECTO Nº 252

BUQUE OCEANOGRÁFICO

DE 7.000 T

Cuaderno 5

Cálculos de arquitectura naval

TUTOR: ELOY J. CARRILLO HONTORIA

ALUMNO: ALEJANDRO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ



INDICE DE CONTENIDOS

Capítulo	Descripción	Página
1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	CURVA DE HIDROSTÁTICAS	6
3.	ESTABILIDAD	9
3.1.	CARENAS INCLINADAS (CURVAS KN)	9
3.2.	BRAZOS ADRIZANTES (CURVAS GZ)	11
4.	TABLA DE CAPACIDADES Y C. DE .G DE TANQUES	13
5.	FRANCOBORDO	14
5.1.	ESLORA DE FRANCOBORDO	14
5.2.	FRANCOBORDO TABULAR	15
5.3.	CORRECCIONES AL FRANCOBORDO TABULAR	15
5.3.1.	CORRECCIÓN POR ESLORA INFERIOR A 100 M	15
5.3.2.	CORRECCIÓN POR COEFICIENTE DE BLOQUE	16
5.3.3.	CORRECCIÓN POR PUNTAL	16
5.3.4.	CORRECCIÓN POR SUPERESTRUCTURAS	17
5.3.5.	CORRECCIÓN POR ARRUFO	18
5.4.	FRANCOBORDOS MÍNIMOS	18
5.5.	MARCA DE FRANCOBORDO	20
5.6.	ALTURA MÍNIMA EN PROA	21
6.	ARQUEO	23
6.1.	ARQUEO BRUTO	23
6.2.	ARQUEO NETO	25
7.	CONCLUSIONES	27
8.	BIBLIOGRAFÍA	28
9.	ANEXO 1: CALIBRACIÓN DE TANQUES	29



INDICE DE FIGURAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Figura 1. Hidrostáticas con trimado nulo	7
	Figura 2. Coeficientes de formas con trimado nulo	8
	Figura 3. Carenas inclinadas, curvas KN	10
	Figura 4. Brazos adrizantes, curvas GZ, escora a babor	12
	Figura 6. Marca de francobordo	21
	Figura 7. Volúmenes cerrados.....	24
	Figura 8. Áreas superestructura	24



INDICE DE TABLAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Tabla 1. Hidrostáticas con trimado nulo	7
	Tabla 2. Puntos de inundación progresiva	9
	Tabla 3. Carenas inclinadas, curvas KN	10
	Tabla 4. Brazos adrizantes, curvas GZ	12
	Tabla 5. Capacidad y c. de g. de tanques	13
	Tabla 6. Corrección por superestructuras.....	17
	Tabla 7. Porcentaje de corrección por superestructuras.....	17
	Tabla 8. Volúmenes cerrados.....	25



1. INTRODUCCIÓN

En el presente cuaderno, se pretende comprobar que el buque desarrollado hasta el momento cumple con unos criterios de seguridad mínimos, de tal manera que su viabilidad pueda, por el momento darse como aceptable.

Para ello se van a obtener, mediante el software Maxsurf y su módulo Hydromax, las tablas de valores hidrostáticos para diferentes calados de operación, así como las curvas KN y GZ, que nos sirven para conocer la estabilidad del buque a grandes ángulos de escora.

Se incluirán además las tablas de capacidades y centros de gravedad para cada tanque del buque, incorporando también la calibración de dichos tanques, para sus diferentes situaciones de carga.

Finalmente se va a calcular el francobordo y arque tanto bruto como neto del proyecto, de acuerdo al reglamento correspondiente.



2. CURVA DE HIDROSTÁTICAS

Las curvas de hidrostáticas del buque permiten conocer, para diferentes calados del buque los valores de diferentes parámetros, como pueden ser el desplazamiento, área de flotación y altura metacéntrica entre otros.

El cálculo de estos valores se ha realizado mediante el software Maxsurf y sus módulos, en concreto el Hydromax, para ello se han definido un calado máximo y uno mínimo. El calado máximo es el de diseño, especificado en los requisitos del proyecto, y son 7,2 metros, y como calado mínimo se considerará 6 metros, de tal manera que los propulsores principales sigan estando suficientemente sumergidos, además este valor es lógico teniendo en cuenta que el presente buque no es de carga donde las variaciones de peso muerto son grandes, sino más bien moderadas.

También se ha tenido en cuenta que el buque va a trabajar a trimado nulo, o muy pequeño, pues sus situaciones de carga se consideran más o menos constantes, habiéndose tenido en cuenta este hecho durante la disposición general del buque y sus tanques de carga.

Se muestra a continuación la tabla de valores y la gráfica de hidrostáticas para los diferentes calados definidos, con trimado nulo:

Tabla de hidrostáticas con trimado nulo							
Parámetro	Valores						
Desplazamiento t	5523	5762	6005	6251	6502	6758	7017
Calado m	6	6.2	6.4	6.6	6.8	7	7.2
Eslora en la flotación m	79.271	80.405	81.814	83.639	84.567	84.667	84.765
Manga en la flotación m	18.143	18.144	18.146	18.147	18.148	18.148	18.149
Superficie mojada m ²	1692.343	1734.337	1778.534	1825.863	1876.255	1925.037	1972.008
Área de flotación m ²	1159.266	1174.755	1192.327	1212.757	1235.834	1256.417	1274.271
Coeficiente prismático	0.653	0.649	0.643	0.635	0.633	0.637	0.642
Coeficiente de bloque	0.624	0.622	0.617	0.609	0.608	0.613	0.618
Coeficiente de la maestra	0.96	0.962	0.963	0.964	0.965	0.966	0.967
Coeficiente de la flotación	0.806	0.805	0.803	0.799	0.805	0.818	0.828
LCB (desde perp. Pp.) m	37.965	37.855	37.739	37.617	37.485	37.344	37.198
LCF (desde perp. Pp.) m	35.434	35.163	34.844	34.439	33.958	33.561	33.247
KB m	3.389	3.502	3.615	3.729	3.844	3.959	4.075
KG m	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
BMt m	5.057	4.912	4.779	4.659	4.553	4.46	4.378
BML m	80.578	80.237	80.414	81.232	82.598	83.314	83.419
GMt m	1.246	1.214	1.194	1.188	1.196	1.219	1.254
GML m	76.768	76.539	76.829	77.76	79.242	80.073	80.294



KMt m	8.446	8.414	8.394	8.388	8.396	8.419	8.454
KML m	83.968	83.739	84.029	84.96	86.442	87.273	87.494
Ton/cm de inmersión	11.882	12.041	12.221	12.431	12.667	12.878	13.061
Mto para trimar 1 cm	52.977	55.107	57.645	60.739	64.381	67.613	70.402
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	120.14	122.073	125.178	129.629	135.746	143.755	153.531

Tabla 1. Hidrostáticas con trimado nulo

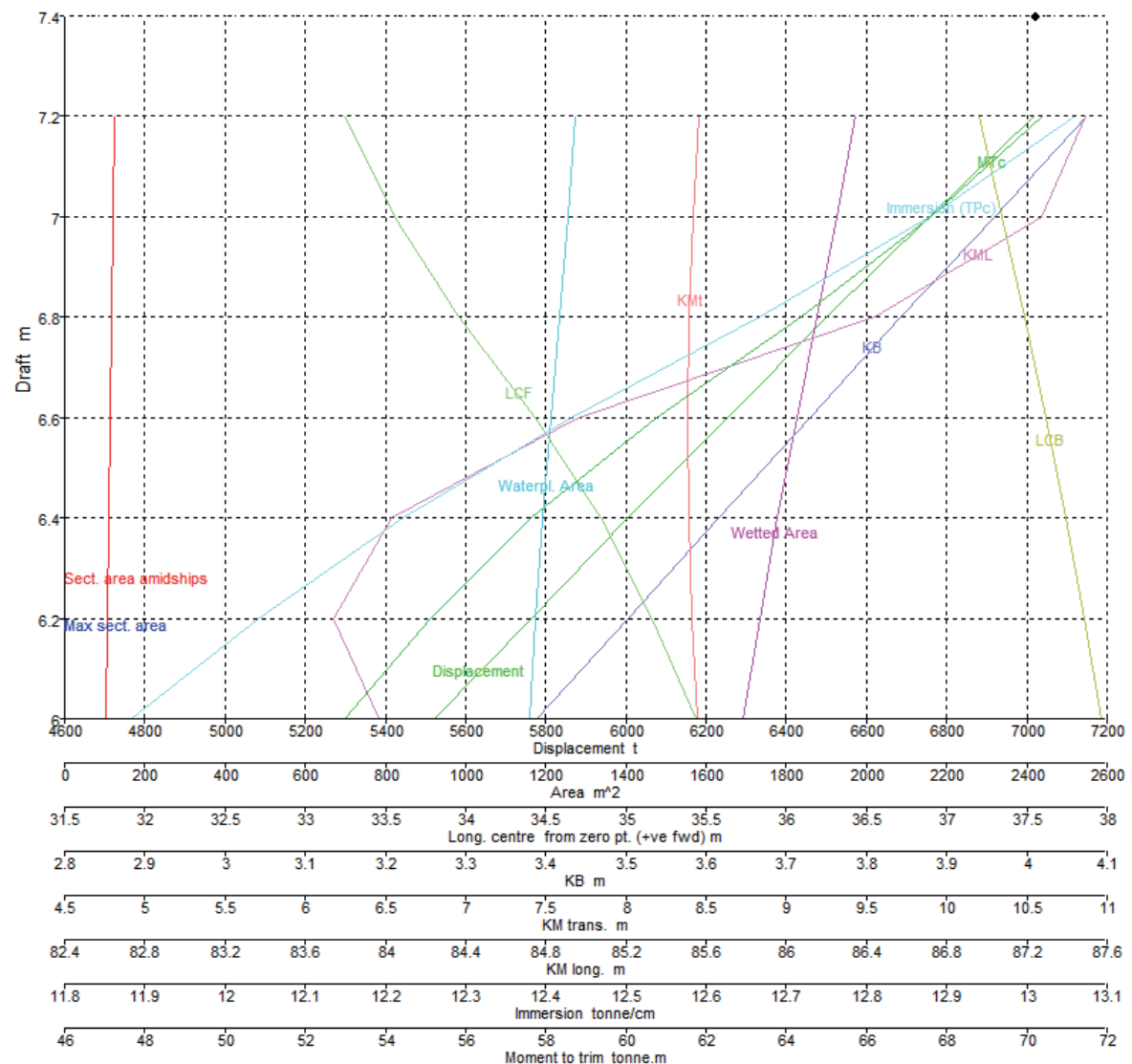


Figura 1. Hidrostáticas con trimado nulo

También son útiles las tablas de los coeficientes de formas en función del calado:

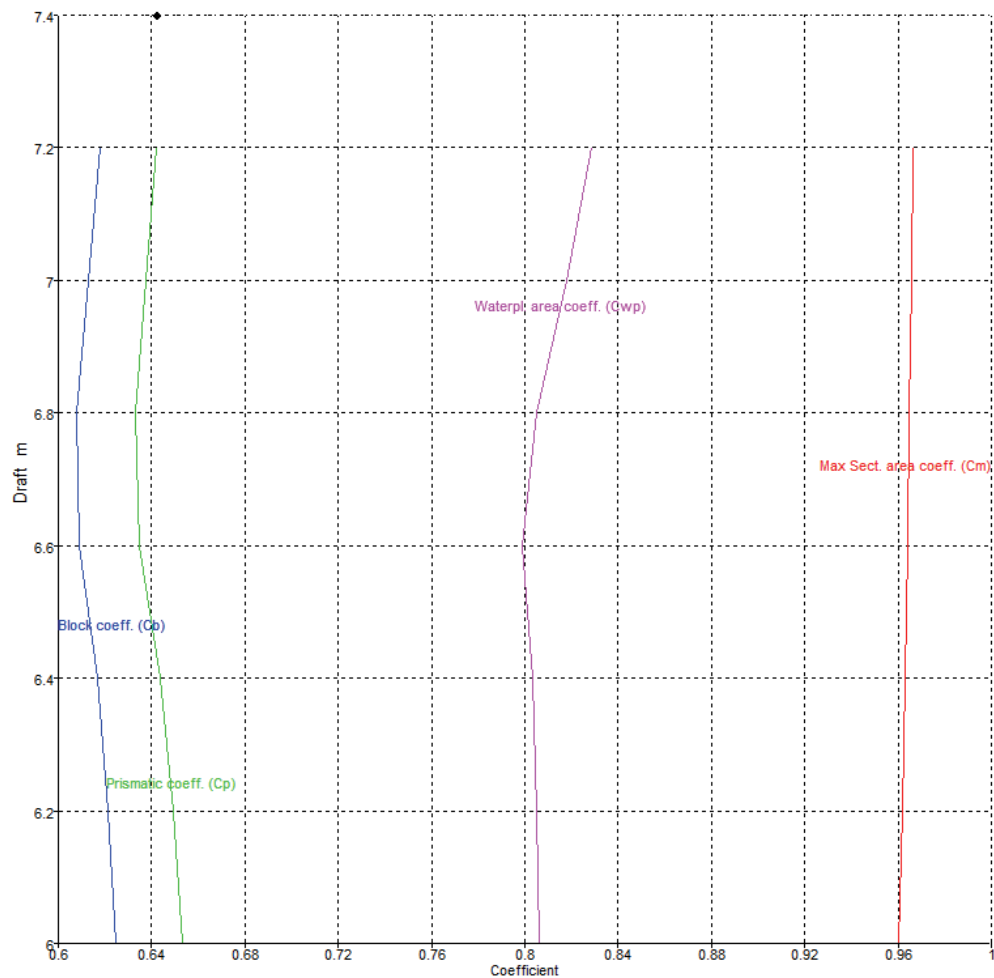


Figura 2. Coeficientes de formas con trimado nulo

Se puede observar un cambio de tendencia a un calado de aproximadamente 6,7 metros, donde las formas de proa se ensanchan para dotar de mayor espacio al interior del buque, bajo este umbral dichas formas se han diseñado con abanico para mejorar así el comportamiento hidrodinámico del buque. Se comprueba sin embargo, que dichas diferencias de coeficientes son notablemente reducidas.



3. ESTABILIDAD

Se va a realizar un estudio de la estabilidad inicial del buque, para comprobar que cumple unos requisitos mínimos.

Posteriormente, en el cuaderno 12 se definirán y estudiarán las diferentes situaciones de carga del buque y la estabilidad tanto intacta como en averías en dichas situaciones.

Si bien para pequeños ángulos de escora la estabilidad puede estudiarse mediante la altura metacéntrica KM, para valores de escora mayores se emplearán los valores de las curvas GZ, correspondientes los brazos adrizantes, cuyo valor depende de:

- Carenas inclinadas o curvas KN, que varían de acuerdo a las formas del buque
- Posición del centro de gravedad, que varía según la situación de carga del buque

De acuerdo a la fórmula siguiente:

$$GZ = KN - KG \cdot \sin\theta$$

Un dato importante a definir es el punto o los puntos de inundación progresiva, a partir de los cuales, para un determinado ángulo de escora, el buque comenzará a inundarse.

Se han definido los siguientes puntos como puntos de inundación progresiva:

Punto inundación progresiva			
Punto inundación progresiva	X	Y	Z
Puerta hangar	28.8	1.5	9.1
Escotilla hangar	33	6.51	11.8

Tabla 2. Puntos de inundación progresiva

3.1. CARENAS INCLINADAS (CURVAS KN)

Se van a estudiar las carenas inclinadas para diferentes calados y ángulos de escora. Los calados serán los mismos que se emplearon en el apartado anterior, y los ángulos de escora se tomarán desde 5º hasta 60º en saltos de 5º, ya que a 60º el buque se considerará irrecuperable.



Los resultados se muestran a continuación, tanto numérica como gráficamente.

Carenas inclinadas, curvas KN												
Calado	Desplazamiento	KN 5º	KN 10º	KN 15º	KN 20º	KN 25º	KN 30º	KN 35º	KN 40º	KN 45º	KN 50º	KN 55º
5	4369	0.77	1.543	2.319	3.099	3.872	4.604	5.242	5.794	6.236	6.556	6.774
5.26	4663	0.758	1.52	2.286	3.059	3.832	4.556	5.196	5.753	6.185	6.499	6.713
5.517	4958	0.749	1.502	2.261	3.028	3.797	4.508	5.149	5.703	6.125	6.435	6.648
5.77	5252	0.742	1.488	2.242	3.006	3.761	4.458	5.099	5.643	6.058	6.364	6.578
6.019	5546	0.737	1.479	2.229	2.989	3.724	4.409	5.046	5.575	5.985	6.289	6.504
6.265	5840	0.734	1.473	2.221	2.974	3.687	4.36	4.985	5.501	5.905	6.209	6.426
6.506	6135	0.733	1.471	2.217	2.957	3.649	4.31	4.919	5.422	5.82	6.125	6.346
6.742	6429	0.733	1.472	2.216	2.936	3.61	4.261	4.848	5.337	5.731	6.036	6.262
6.973	6723	0.735	1.475	2.215	2.911	3.57	4.207	4.772	5.247	5.637	5.944	6.174
7.2	7017	0.738	1.478	2.208	2.883	3.529	4.148	4.691	5.154	5.539	5.847	6.084

Tabla 3. Carenas inclinadas, curvas KN

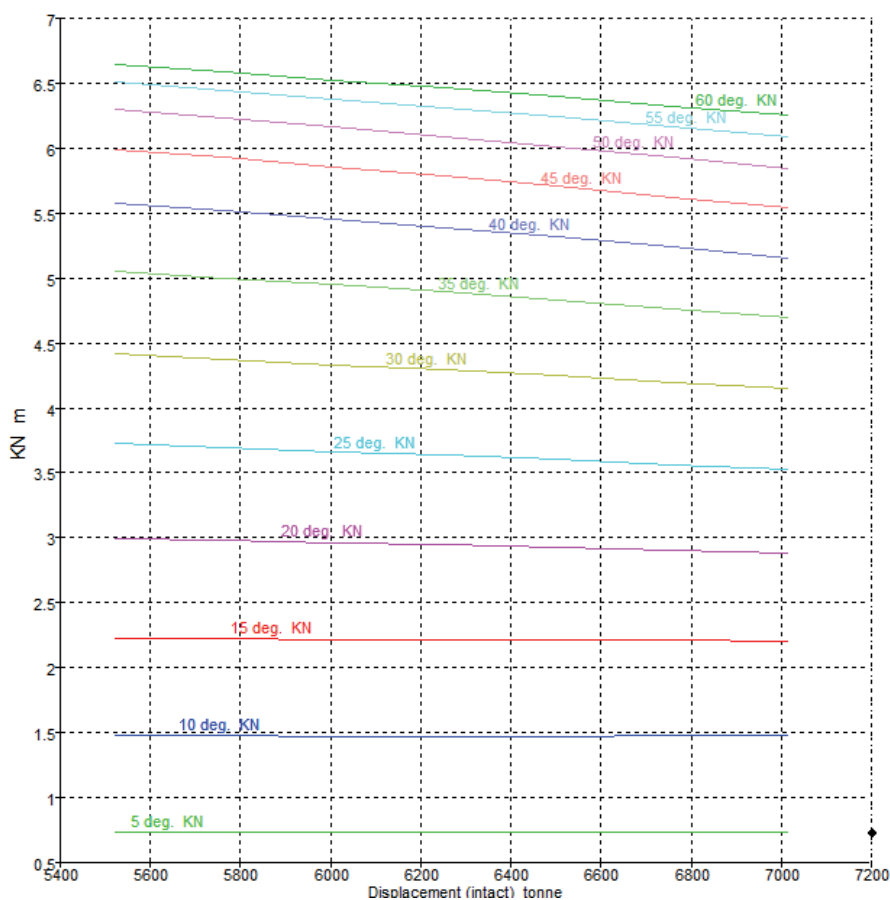


Figura 3. Carenas inclinadas, curvas KN



3.2. BRAZOS ADRIZANTES (CURVAS GZ)

En este apartado se pretende, de una manera preliminar, y de acuerdo a los valores de peso y centro de gravedad estimados en el cuaderno 2 de dimensionamiento inicial comprobar si el proyecto cumple en este estado los requisitos de estabilidad impuestos por la OMI, que son los siguientes:

- La altura metacéntrica corregida por superficies libres debe ser mayor a 0,15 m
- El máximo valor de la curva de brazos GZ será para las escoras de 30º o más
- La curva de brazos GZ a partir de 30º deberá tener brazos mayores de 0,20 m
- El área encerrada por la curva de brazos GZ y la ordenada de 40º será igual o mayor a 0,090 m·rad
- El área encerrada por la curva GZ y las ordenadas de 30º y 40º de escora y/o la ordenada correspondiente al ángulo de inundación (si fuera menor a 40º) deberá ser mayor de 0.030 m·rad
- El área encerrada por la curva de brazos GZ y la ordenada de la escora de 30º será igual o mayor a 0,055 m·rad

Los valores obtenidos se muestran a continuación, numérica y gráficamente, nótese que se incluye únicamente los valores para la escora a babor, puesto que los valores escorando a la otra banda son casi idénticos, pero el primer punto de inundación progresiva se alcanza por babor, siendo este la escotilla superior del hangar, que para el calado máximo ocurre a un ángulo de escora de 34,3 º.

Brazos adrizantes, curvas GZ													
Ángulo	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
GZ m	0.001	0.149	0.303	0.457	0.569	0.67	0.765	0.809	0.803	0.751	0.661	0.537	1.796
Area bajo GZ desde 0º m.deg	0	0.373 8	1.500 9	3.410 9	5.989 8	9.087	12.68 7	16.64 73	20.69 73	24.60 04	28.14 64	31.14 88	80.80 63
Desplazamiento t	7009	7009	7009	7009	7009	7009	7009	7009	7008	7009	7009	7009	4430
Calado en proa m	7.193	7.209	7.241	7.274	7.245	7.152	7.004	6.856	6.72	6.593	6.467	6.333	6.018
Calado en popa m	7.193	7.168	7.105	7.036	7.072	7.205	7.425	7.753	8.185	8.727	9.393	10.22 4	- 0.766
Eslora en la flotación m	84.76 2	84.76 9	84.78 5	84.80 1	84.78 7	84.74 1	84.67	84.6	84.53 8	84.48 2	84.43	84.37 5	84.21 8
Manga en la flotación m	18.14 9	18.21 6	18.42 5	18.78 5	19.31	19.97 4	19.45 9	18.35 9	17.29 8	16.22 9	15.19 6	14.28 8	13.60 3
Superficie mojada m2	1970. 443	1970. 878	1969. 147	2006. 628	2058. 538	2093. 23	2134. 334	2179. 371	2215. 962	2243. 461	2262. 457	2275. 829	1639. 757
Área de flotación m2	1273. 707	1276. 354	1281. 354	1243. 525	1192. 861	1172. 521	1135. 342	1077. 492	1021. 554	968.1 85	918.7 14	876.0 8	864.0 12
Coeficiente prismático	0.642	0.642	0.644	0.645	0.645	0.643	0.642	0.642	0.644	0.646	0.647	0.647	0.606
Coeficiente de bloque	0.618	0.585	0.544	0.505	0.467	0.432	0.427	0.436	0.448	0.464	0.484	0.505	0.462
LCB (desde perp. Pp.) m	37.20 3	37.20 7	37.21	37.21 4	37.21 2	37.20 5	37.19 4	37.18	37.16 4	37.14 8	37.13 1	37.11 6	40.68 3
LCF (desde perp. Pp.) m	33.25 6	33.31 7	33.59 2	34.76 8	36.49 1	37.85 1	38.88 9	39.58 3	40.12 8	40.58 6	41	41.37 8	42.02 5
Máxima inclinación de la cubierta deg	0	5.000 1	10.00 05	15.00 09	20.00 03	25	30.00 1	35.00 34	40.00 67	45.01 02	50.01 33	55.01 56	60.02 97



Ángulo de trimado (+ve desde popa) deg	0	- 0.029 2	- 0.097 2	- 0.170 2	- 0.123 7	0.037 8	0.301 5	0.642	1.049 3	1.527 5	2.093 9	2.782 8	- 4.845
--	---	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------	------------	-------	------------	------------	------------	------------	------------

Tabla 4. Brazos adrizantes, curvas GZ

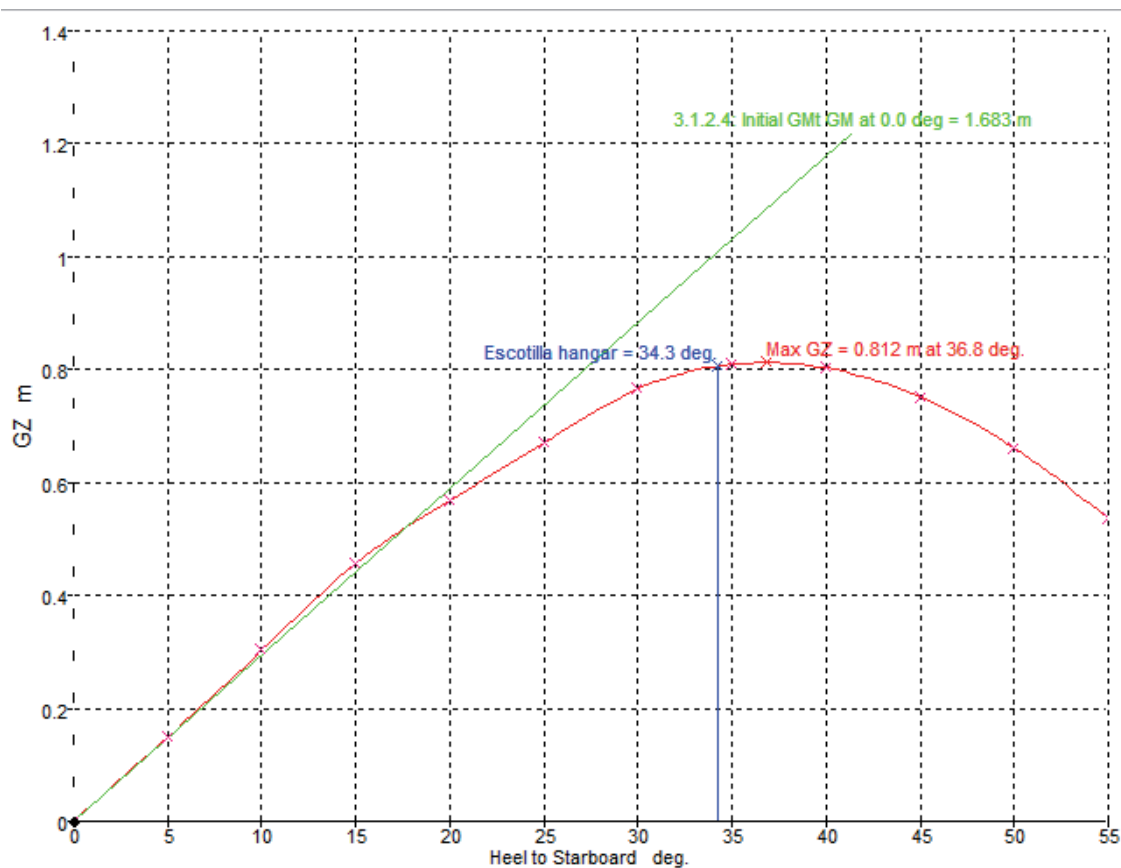


Figura 4. Brazos adrizantes, curvas GZ, escora a babor

Vemos que cumple los criterios de la OMI:

Criterios estabilidad intacta calado máximo			
Criterio	Valor mínimo	Valor obtenido	Margen
Area 0º a 30º (m·deg)	3.151	12.687	303%
Area 0º a 34,3º (m·deg)	5.160	16.061	211%
Area 30º a 34,3º (m·deg)	1.719	3.374	96%
GZ para >30º (m)	0.200	0.812	306%
Ángulo para GZ max (deg)	25.000	36.800	47%
GMt inicial (m)	0.150	1.683	1022%



4. TABLA DE CAPACIDADES Y C. DE .G DE TANQUES

A continuación se muestra en una tabla los tanques dispuestos en el buque, según tipo de contenido, se incluyen la capacidad en m³, el peso en toneladas del fluido dentro del tanque y la posición del centro de gravedad respecto de la perpendicular de popa.

Para información adicional sobre la calibración de tanques se recomienda leer el Anexo 1 del presente cuaderno.

Capacidad y c. de g. de tanques					
Tanque	Volumen m ³	Peso t	LCG m	TCG m	VCG m
MDO Popa Br	65.35	54.894	12.522	-3.38	2.925
MDO Popa Er	65.35	54.894	12.522	3.38	2.925
MDO Pp Br	135.608	113.91	20.53	-5.875	2.363
MDO Pp Er	135.608	113.91	20.53	5.875	2.363
MDO Br	185.546	155.859	46.035	-5.942	2.037
MDO Med	20.453	17.18	50.098	0	0.513
MDO CCMM Er	38.599	155.859	46.035	5.942	2.037
MDO CCMM Br	38.599	71.52	55.791	0	0.579
MDO Er	185.546	17.01	42.3	-2.25	2.35
MDO Proa	85.143	17.01	42.3	2.25	2.35
MDO diario Br	20.25	15.737	65.502	-0.963	0.622
MDO diario Er	20.25	15.737	65.502	0.963	0.622
AD Br	15.737	32.423	33.425	5.567	0.633
AD Er	15.737	32.423	33.425	-5.567	0.633
Aguas grises	13.496	13.496	36.925	-1.739	0.541
Aguas negras	4.04	4.04	33.61	-2.509	0.573
Sentinas	3.522	3.24	37.808	2.703	0.538
Lodos	2.544	2.34	35.705	2.702	0.556
Reboses	2.382	2.191	33.61	2.913	0.576
Lube oil	1.147	1.056	31.802	2.912	0.591
Aceite sucio	1.122	1.032	30.602	2.912	0.6
Lastre proa	54.281	55.638	75.598	0	5.297

Tabla 5. Capacidad y c. de g. de tanques



5. FRANCOBORDO

El francobordo del buque se define en la ILLC (International Load Lines Convention) de 1996 como la distancia medida verticalmente en el centro del buque, desde la intersección de la cara superior de la cubierta de francobordo con la superficie exterior del forro, hasta la línea de carga correspondiente.

Este volumen interior del casco sobre la línea de flotación nos da un margen de seguridad, aumentando la reserva de flotabilidad del buque.

Ya se hizo una estimación preliminar en el cuaderno 2, ahora, con los datos de proyecto del buque se va a realizar una nueva estimación más exacta.

5.1. ESLORA DE FRANCOBORDO

Lo primero que hay que hacer es definir la eslora de francobordo LFB, que queda determinada por el mayor de los siguientes valores, medidos en la flotación al 85% del puntal de trazado:

- 96% de la eslora total a dicha altura.
- Eslora desde el extremo de la roda hasta el eje de la mecha del timón (hasta la perpendicular de popa en nuestro caso).

La distancia vertical desde la línea de base al 85% del puntal resulta:

$$D_{85} = 0,85 \cdot 9,1 = 7,735 \text{ m}$$

Luego los dos valores anteriores resultan:

$$L_{FB1} = 0,96 \cdot 85,02 = 81,62 \text{ m}$$

$$L_{FB2} = 80,294 \text{ m}$$

Se toma por tanto el primero de los dos valores.

$$L_{FB} = 81,62 \text{ m}$$



5.2. FRANCOBORDO TABULAR

Ya se definió en el cuaderno 2 el presente buque como buque tipo B, con lo que se estimará el francobordo tabular interpolando entre los valores adjuntos a continuación, siendo la primera columna la eslora de francobordo en metros y la segunda el valor de francobordo tabular en mm, se entrará con la eslora de francobordo calculada: 81,62 metros.

81	905
82	923

Obteniendo un FBT = 911,84 mm

5.3. CORRECCIONES AL FRANCOBORDO TABULAR

Una vez calculado el francobordo tabular, se aplicarán sobre el mismo una serie de correcciones debidas a las características geométricas y disposición del buque.

5.3.1. CORRECCIÓN POR ESLORA INFERIOR A 100 M

Se aplica sólo a los buques Tipo B de menos de 100 m. de eslora, y cuya longitud de superestructuras E sea menor del 35% de la eslora, y su expresión viene dada por:

$$C1 = 7,5 \cdot (100 - L) \cdot \left(0,35 - \frac{E}{L}\right) mm$$

En nuestro caso, aunque es un buque tipo B de menos de 100 metros de eslora, la longitud de las superestructuras es 50,92 metros, es decir $\frac{50,92}{81,62} = 0,62$, es decir un 62% de la eslora, y por ende superior al 35% máximo para aplicar esta corrección, se tomará entonces una corrección nula en este caso.

$$C1=0$$



5.3.2. CORRECCIÓN POR COEFICIENTE DE BLOQUE

Esta corrección se aplica cuando el coeficiente de bloque es superior a 0,68, y su expresión tiene en cuenta el C_B 85% del puntal:

$$C2 = \frac{C_B 85D + 0,68}{1,36} \text{ (mm)}$$

Hallaremos el coeficiente de bloque para el 85% del puntal mediante el uso del software maxsurf, cuyo resultado es: es 0,671, un valor evidentemente inferior. Luego este valor se tomará también para que no afecte al resultado final, en este caso como va multiplicando se tomará el valor unitario.

$$C2=1$$

5.3.3. CORRECCIÓN POR PUNTAL

Si el puntal es mayor que $L/15$ se aplicará la siguiente corrección:

$$C3 = \left(D - \frac{L}{15} \right) \cdot R \text{ (mm)}$$

Donde el valor de R dependerá de la eslora:

$$R = \frac{L}{0,48} \text{ si } L < 120 \text{ m}$$

$$R = 250 \text{ si } L > 120 \text{ m}$$

En nuestro buque $L/15=81,62/15=5,44$ m valor inferior al del puntal $D=9,1$ m, por lo que esta corrección sí que se aplicará, y su valor será:



$$R = \frac{81,62}{0,48} = 170,04$$

$$C3 = \left(9,1 - \frac{81,62}{15}\right) \cdot 170,04 = 622,12 \text{ (mm)}$$

5.3.4. CORRECCIÓN POR SUPERESTRUCTURAS

Como se ha calculado en el apartado 5.3.1. del presente cuaderno, la longitud de la superestructura es un 62% de la eslora de francobordo.

Para el cálculo de esta corrección primero hay que interpolar en la tabla siguiente para estimar el valor de la corrección si la superestructura ocupase toda la eslora:

Eslora del buque (m)	Corrección De (mm)
24	350
85	860
122 y más	1070

Tabla 6. Corrección por superestructuras

Sobre este valor interpolado a 81,62 m, que resulta De = 831,74 mm; habrá que aplicarle un porcentaje de acuerdo a la tabla que se encuentra bajo estas líneas, según la longitud de la superestructura sobre la eslora, E/L=62%

E/L	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Tipo A	0	7	14	21	31	41	52	63	75,3	87,7	100
Tipo B	0	5	10	15	23,5	32	46	63	75,3	87,7	100

Tabla 7. Porcentaje de corrección por superestructuras

El porcentaje resulta ser: 52,8, interpolando para E/L=0,62 en la fila de buques tipo B.

A este porcentaje que va a deducirse sobre la corrección De hay que aplicarle además una pequeña reducción si la longitud del castillo de proa es menor de un 7% de la eslora entre



perpendiculares. Sin embargo, tal y como se define en el cuaderno 4, la longitud del castillo de proa es de 10,72 metros, que es en porcentaje sobre la eslora de francobordo:

$$10,72/81,62 = 0,131 = 13\%$$

Valor claramente mayor que el 7%, luego no se reducirá por longitud de castillo, el porcentaje calculado.

La corrección por superestructuras resulta entonces:

$$C4 = De \cdot \frac{Por}{100} = 831,74 \cdot \frac{52,8}{100} = 439,16 \text{ (mm)}$$

5.3.5. CORRECCIÓN POR ARRUFO

Se ha diseñado el buque sin arrufo, luego la corrección por el mismo será nula.

$$C5=0.$$

5.4. FRANCOBORDOS MÍNIMOS

a) Francobordo de verano mínimo reglamentario

Una vez calculado el francobordo tabular y todas sus correcciones puede estimarse el francobordo total de verano con la expresión siguiente:

$$FB = (FBT + C1) \cdot C2 + C3 - C4 + C5$$

$$FB = (911,84 + 0) \cdot 1 + 622,12 - 439,16 + 0 = 1094,8 \text{ mm}$$

b) Francobordo de verano (V)

Si bien se ha calculado el francobordo mínimo de acuerdo al reglamento, por necesidades de disposición general, la cubierta superior estanca se ha situado a una altura sobre la línea de base de 9,1 metros, que al calado máximo de diseño $T = 7,2 \text{ m}$; tomado como calado de



francobordo de verano, podríamos calcular entonces el francobordo de verano del buque siendo este:

$$FB(V) = D - T = 9,1 - 7,2 = 1,9 \text{ m} = 1900 \text{ mm}$$

Valor claramente superior al mínimo exigido.

c) Francobordo de invierno (I)

El francobordo de invierno se calcula añadiendo al francobordo de verano $1/48$ del calado de verano, es decir:

$$FB(I) = FB(V) + \frac{1}{48} \cdot T_{\text{verano}} = 1900 + \frac{1}{48} \cdot 7200 = 2050 \text{ mm}$$

d) Francobordo de invierno Atlántico Norte (ANI)

El francobordo de invierno en el Atlántico Norte se calcula sumando 50 mm al francobordo de invierno previamente calculado.

$$FB(ANI) = FB(I) + 50 = 2050 + 50 = 2100 \text{ mm}$$

e) Francobordo tropical (T)

El francobordo tropical se calcula deduciendo del francobordo de verano $1/48$ del calado de verano, con que:

$$FB(T) = FB(V) - \frac{1}{48} \cdot T_{\text{verano}} = 1900 - \frac{1}{48} \cdot 7200 = 1750 \text{ mm}$$

f) Francobordo de verano en agua dulce (D)

El francobordo de verano en agua dulce se obtiene restando al francobordo de verano un valor en función del desplazamiento del buque y toneladas por centímetro de inmersión, de la siguiente manera:



$$FB(D) = FB(V) - \frac{\Delta}{40 \cdot t_{cm \text{ inmersión}}}$$

Conociendo el desplazamiento = 7.020,5 t; y las toneladas por centímetro de inmersión, dato proporcionado por el software *Maxsurf*: $t_{cmi} = 13,062$ t/cm tendremos un valor de francobordo de verano en agua dulce de:

$$FB(D) = FB(V) - \frac{7.020,5}{40 \cdot 13,062} = 1900 \text{ mm} - 13,44 \text{ cm} = 1765 \text{ mm}$$

g) Francobordo tropical en agua dulce (TD)

$$FB(TD) = FB(D) - \frac{1}{48} \cdot T_{\text{verano}} = 1765 - \frac{1}{48} \cdot 7200 = 1615 \text{ mm}$$

5.5. MARCA DE FRANCOBORDO

La marca de francobordo, o disco de Plimsoll indica los diferentes calados a los que navega el buque en condiciones de seguridad, es decir los correspondientes a cada francobordo previamente calculado.

De acuerdo al anexo 1, capítulo 1, regla 5 del ILLC:

“1) La marca de francobordo estará formada por un anillo de 300 milímetros (12 pulgadas) de diámetro exterior y 25 milímetros (1 pulgada) de ancho, cortado por una línea horizontal de 450 milímetros (18 pulgadas) de longitud y 25 milímetros (1 pulgada) de anchura, cuyo borde superior pasa por el centro del anillo.

El centro del anillo deberá colocarse en el centro del buque y a una distancia igual al francobordo mínimo de verano asignado, medida verticalmente por debajo del borde superior de la línea de cubierta.

2) Se usarán las siguientes líneas de carga:

a) La línea de carga de verano, indicada por el borde superior de la línea que pasa por el centro del anillo y también por el borde superior de una línea marcada V.

b) La línea de carga tropical, indicada por el borde superior de una línea marcada I.

c) La línea de carga de invierno en el Atlántico Norte, indicada en el borde superior de una línea marcada MANI.

d) La línea de carga tropical, indicada por el borde superior de una línea marcada T.

e) La línea de carga de verano en agua dulce, indicada por el borde superior de una línea marcada D. La línea de carga de verano en agua dulce se marcará hacia popa de la línea vertical. La diferencia entre la línea de carga de verano en agua dulce y la línea de carga de verano representará la concesión que corresponde, para cargar en agua dulce, sobre las otras líneas de carga.

f) La línea de carga en agua dulce tropical vendrá indicada por el borde superior de una línea marcada TD y dispuesta a popa de la línea vertical.”

Se acompaña, al lado del disco, con un peine que marca los diferentes límites según la zona geográfica y estación en que navega el buque.

Se adjunta a continuación una imagen con la marca de francobordo correspondiente al presente proyecto.

Las letras B V sobre el disco indican la sociedad de clasificación que aprueba el buque, en este caso Bureau Veritas.

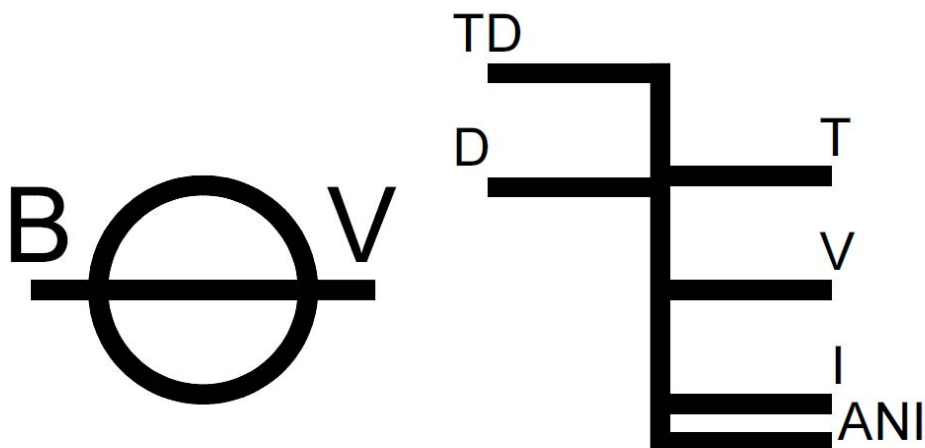


Figura 5. Marca de francobordo

5.6. ALTURA MÍNIMA EN PROA

La normativa de la ILLC, en su regla 39 exige que la distancia vertical desde la cubierta expuesta hasta la flotación en carga correspondiente al francobordo de verano, medida en la perpendicular de proa, para esloras inferiores a 250 m (como es nuestro caso), no sea menor de:

$$H_{\min proa} = 56 \cdot L \cdot \left(1 - \frac{L}{500}\right) \cdot \frac{1,36}{CB + 0,86} \text{ mm}$$



Que resulta:

$$H_{\min proa} = 56 \cdot 81,62 \cdot \left(1 - \frac{81,62}{500}\right) \cdot \frac{1,36}{0,671 + 0,86} = 3397,42 \text{ mm}$$

La normativa indica que si esta altura se consigue por medio de arrufo en la cubierta, éste se extenderá al menos hasta el 15% de la eslora a partir de la perpendicular de proa. Si se consigue por medio de un castillo, éste tendrá al menos una longitud igual al 7% de la eslora.

En este proyecto se ha diseñado un castillo de proa, cuya longitud es de un 13% de la eslora, y la altura de la cubierta expuesta del mismo se encuentra a una altura sobre la flotación de verano de 4,6 metros, que cumple sobradamente con la altura mínima exigida en proa.



6. ARQUEO

El arqueo del buque actúa como indicador del tamaño del buque, y su valor influye directamente en la disposición de diferentes sistemas y dispositivos a bordo del buque, de acuerdo al reglamento.

Se emplea este valor además para el cálculo de las tarifas de puertos, entre otras cosas, razón por la que se persigue un valor mínimo de arqueo.

Los cálculos realizados a continuación se hacen de acuerdo al Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques, de 1969, firmado en la IMO, en Londres. *** añadir a referencias.

Existen dos valores diferentes de arqueo: arqueo bruto (GT) y arqueo Neto (NT).

6.1. ARQUEO BRUTO

La referencia citada, especifica que el arqueo bruto se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$GT = V \cdot K_1$$

Siendo:

- V, el volumen total de todos los espacios cerrados del buque en m³.
- K₁, factor definido por $K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V$

Los volúmenes se han calculado mediante el software Rhinoceros, aplicado directamente para el volumen bajo cubierta, así como para el volumen de superestructuras sobre la cubierta superior y hasta la de tripulación. A partir de la cubierta de tripulación, a excepción del puente, se ha multiplicando el área por la altura para las superestructuras.

Cabe destacar que para el cálculo de volumen de hangar y bajo cubierta se han deducido las chimeneas, por ser estas espacios exentos.

El hangar sí que se incluye en el estudio de arqueo bruto pues dispone de medios de cierre para la escotilla superior a través de la cual se opera el ROV.

Los volúmenes cerrados considerados han sido por tanto los siguientes:

- Volumen bajo cubierta, deduciendo el espacio de las chimeneas y de los túneles de las hélices transversales de proa
- Volumen de superestructuras entre sobre la cubierta superior y bajo la de tripulación, incluyendo hangar, deduciendo las chimeneas

- Volumen de locales bajo las grúas
- Volumen del resto de superestructuras y puente, incluyendo local del generador de emergencia. Se ha descontado el espacio correspondiente a los botes salvavidas.

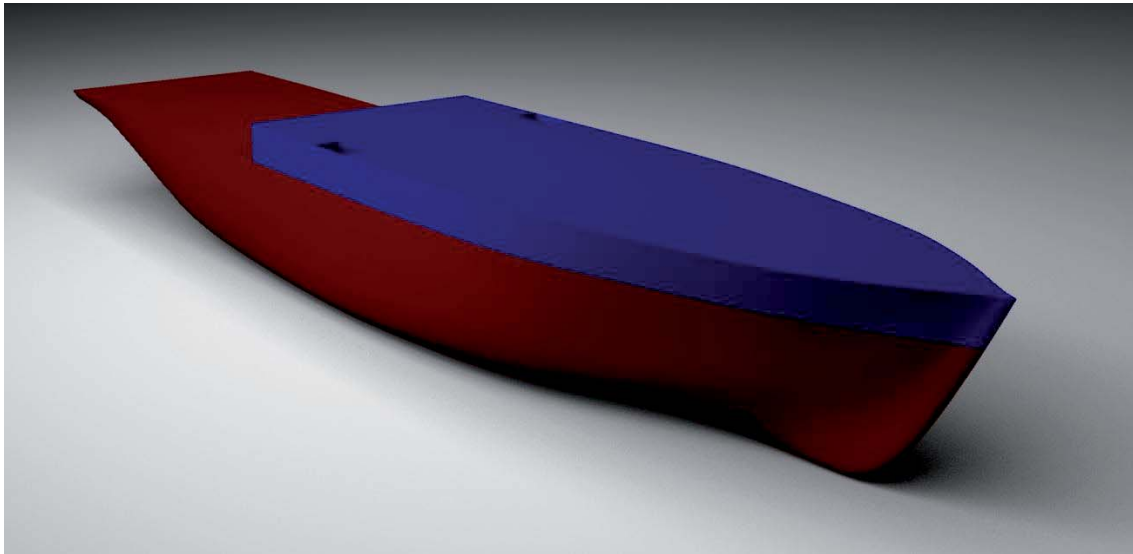


Figura 6. Volúmenes cerrados

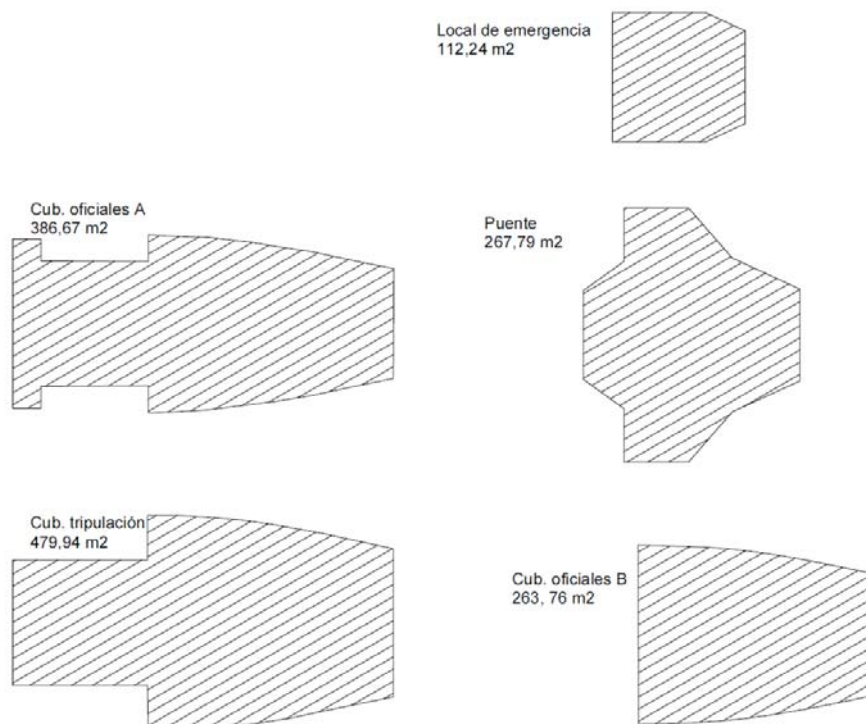


Figura 7. Áreas superestructura



Los volúmenes de dichos espacios se recogen en la siguiente tabla:

Volúmenes cerrados		
Volumen	Valor	Unidades
Bajo cubierta	9267.9	m ³
Superestructura s/ cub. tripulación	2037.3	m ³
Locales bajo grúas	43.9	m ³
Resto de superestructuras	4198.9	m ³
Suma	15548	m³

Tabla 8. Volúmenes cerrados

Se tendría entonces un valor de k_1 :

$$K_1 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} 15548 = 0,284$$

Y por tanto el arqueo bruto:

$$GT = V \cdot K_1 = 15548 \cdot 0,284 = 4415,6$$

6.2. ARQUEO NETO

El arqueo neto se obtiene resolviendo la siguiente expresión:

$$NT = k_2 \cdot V_c \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D} \right)^2 + k_3 \cdot \left(N_1 + \frac{N_2}{10} \right)$$

Donde:

- V_c , es el volumen de los espacios de carga, en m³
- k_2 , es un factor calculado como $K_2 = 0,2 + 0,02 \cdot \log_{10} V_c$
- d , es el calado de trazado, en metros
- D , es el puntal de trazado en metros
- K_3 , es un factor que se calcula mediante $k_3 = 1,25 \cdot \frac{GT+10000}{10000}$
- N_1 , es el número de pasajeros en camarotes que no tengan más de 8 literas



- N_2 , es el número de pasajeros no incluidos en N_1

Como consideraciones adicionales hay que tener en cuenta:

- $\left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2$, no se tomará mayor que la unidad
- $k_2 \cdot V_c \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2$, no se tomará menor que $0,25 \cdot GT$; usando este valor si ocurriese tal cosa
- $N_1 + N_2$, es el número total de pasajeros autorizados a llevar en el buque, que deberá ser mayor de 13 para no ser tomado como cero el segundo valor de la ecuación del arqueo neto.
- NT , en cualquier caso no se tomará menor que $0,3 \cdot GT$

Dado que en este buque los volúmenes de carga son muy pequeños, el primer valor se va a tomar como:

$$k_2 \cdot V_c \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2 = 0,25 \cdot GT = 0,25 \cdot 4415,6 = 1103,9$$

El número total de pasajeros será tomado como el total de científicos, es decir 50, todos ellos en camarotes individuales, luego:

$$k_3 \cdot \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right) = 1,25 \cdot \frac{4415,6 + 10000}{10000} \cdot \left(50 + \frac{0}{10}\right) = 90,1$$

La suma de ambos valores daría el arqueo neto:

$$NT = k_2 \cdot V_c \cdot \left(\frac{4 \cdot d}{3 \cdot D}\right)^2 + k_3 \cdot \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right) = 1103,9 + 90,1 = 1194$$

Y como este valor resulta menor que $0,3 \cdot GT = 0,3 \cdot 4415,6 = 1324,7$, se tomará este valor como arque neto, es decir:

$$NT = 1324,7$$



7. CONCLUSIONES

Se ha comprobado a lo largo del cuaderno que las formas del buque cumplen sobradamente los requisitos de estabilidad impuestos por la OMI.

Además ha quedado redefinido el francobordo, acorde con las nuevas decisiones tomadas respecto del dimensionamiento inicial y definido por primera vez el arqueo, valor de gran importancia para el buque, que ha resultado dentro de los estándares esperados, y al ser superior a 4000 GT va a influir en algunas decisiones respecto de la seguridad del buque.

Finalmente se incluyen en este cuaderno todos los datos de los tanques para sus diferentes situaciones de carga líquida interna, lo que entre otros datos, muestran las diferentes situaciones del centro de gravedad de los mismos.



8. BIBLIOGRAFÍA

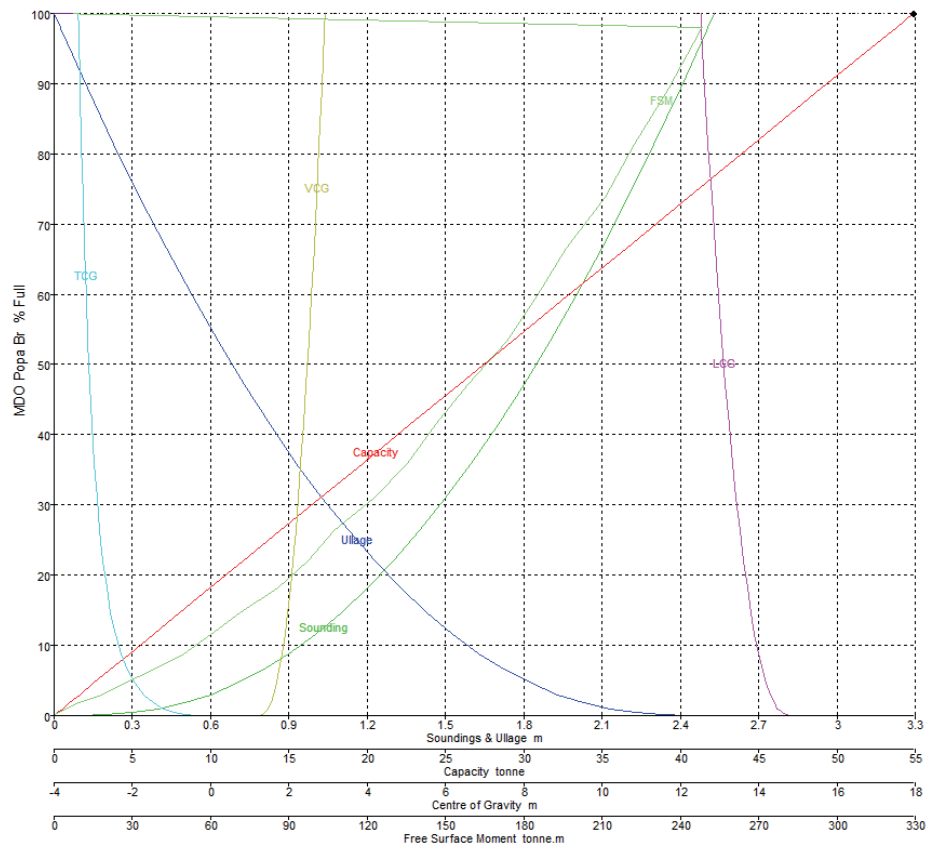
- [1] MEIZOSO FERNÁNDEZ, MANUEL; ALVARIÑO CASTRO, RICARDO; AZPÍROZ AZPÍROZ, JUAN JOSÉ. *“El Proyecto Básico del Buque Mercante”*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval, 1997
- [2] BAQUERO MAYOR, ANTONIO. *“Introducción a la Resistencia y Propulsión”*. ETSIN, 2011
- [3] *“Convenio internacional de las líneas de carga”*, OMI 1966
- [4] *“Convenio internacional sobre arqueo de buques”*, OMI 1969



9. ANEXO 1: CALIBRACIÓN DE TANQUES



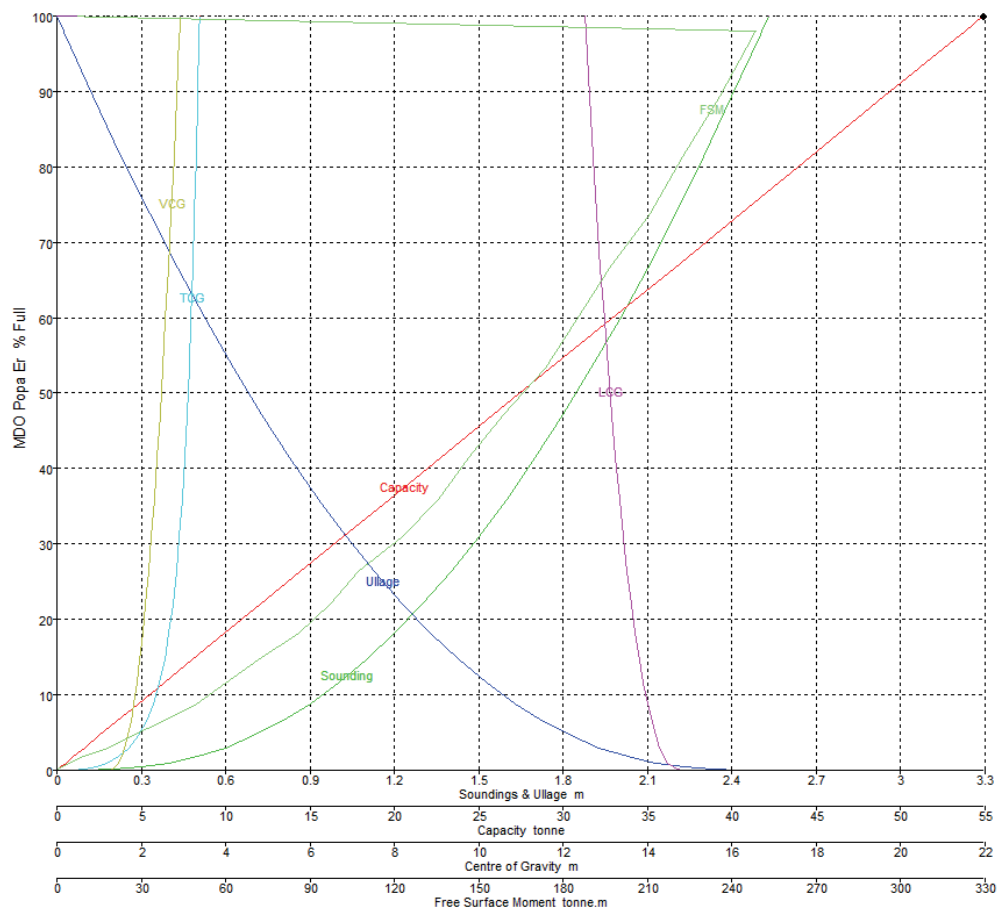
MDO Popa babor								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
2.529	0	100	65.35	54.894	12.522	-3.38	2.925	0
2.505	0.024	98	64.043	53.796	12.542	-3.372	2.91	248.35
2.504	0.025	97.9	63.978	53.741	12.543	-3.372	2.909	248.184
2.5	0.029	97.552	63.75	53.55	12.546	-3.371	2.906	247.616
2.4	0.129	89.296	58.355	49.018	12.63	-3.338	2.84	235.694
2.3	0.229	81.394	53.191	44.68	12.714	-3.303	2.774	222.482
2.2	0.329	73.825	48.244	40.525	12.799	-3.267	2.707	210.995
2.1	0.429	66.615	43.533	36.568	12.886	-3.227	2.641	196.266
2	0.529	59.772	39.061	32.811	12.972	-3.184	2.574	184.93
1.9	0.629	53.259	34.804	29.236	13.062	-3.138	2.507	173.685
1.8	0.729	47.12	30.793	25.866	13.151	-3.089	2.441	158.659
1.7	0.829	41.373	27.037	22.711	13.239	-3.032	2.374	146.304
1.6	0.929	35.956	23.497	19.738	13.332	-2.972	2.306	135.59
1.5	1.029	30.911	20.2	16.968	13.427	-2.908	2.238	122.744
1.4	1.129	26.285	17.178	14.429	13.517	-2.832	2.171	107.241
1.3	1.229	22.017	14.388	12.086	13.61	-2.748	2.103	97.204
1.2	1.329	18.105	11.832	9.939	13.71	-2.658	2.034	85.894
1.1	1.429	14.606	9.545	8.018	13.807	-2.553	1.965	71.373
1	1.529	11.526	7.532	6.327	13.897	-2.425	1.896	59.944
0.9	1.629	8.79	5.744	4.825	13.999	-2.287	1.826	49.765
0.8	1.729	6.453	4.217	3.542	14.103	-2.13	1.755	37.809
0.7	1.829	4.546	2.971	2.496	14.19	-1.928	1.684	26.829
0.6	1.929	2.984	1.95	1.638	14.291	-1.709	1.611	18.35
0.5	2.029	1.802	1.178	0.989	14.399	-1.469	1.537	9.707
0.402	2.126	1	0.653	0.549	14.48	-1.199	1.467	4.599
0.4	2.129	0.983	0.643	0.54	14.483	-1.192	1.465	4.509
0.3	2.229	0.437	0.286	0.24	14.61	-0.947	1.39	1.683
0.2	2.329	0.147	0.096	0.081	14.696	-0.652	1.319	0.396
0.1	2.429	0.022	0.015	0.012	14.827	-0.364	1.244	0.031
0	2.529	0	0	0	14.952	0	1.171	0



MDO Popa estribor								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
2.529	0	100	65.35	54.894	12.522	3.38	2.925	0
2.505	0.024	98	64.043	53.796	12.542	3.372	2.91	248.35
2.504	0.025	97.9	63.978	53.741	12.543	3.372	2.909	248.184
2.5	0.029	97.552	63.75	53.55	12.546	3.371	2.906	247.616
2.4	0.129	89.296	58.355	49.018	12.63	3.338	2.84	235.694
2.3	0.229	81.394	53.191	44.68	12.714	3.303	2.774	222.482
2.2	0.329	73.825	48.244	40.525	12.799	3.267	2.707	210.995
2.1	0.429	66.615	43.533	36.568	12.886	3.227	2.641	196.266
2	0.529	59.772	39.061	32.811	12.972	3.184	2.574	184.93
1.9	0.629	53.259	34.804	29.236	13.062	3.138	2.507	173.685
1.8	0.729	47.12	30.793	25.866	13.151	3.089	2.441	158.659
1.7	0.829	41.373	27.037	22.711	13.239	3.032	2.374	146.304
1.6	0.929	35.956	23.497	19.738	13.332	2.972	2.306	135.59
1.5	1.029	30.911	20.2	16.968	13.427	2.908	2.238	122.744
1.4	1.129	26.285	17.178	14.429	13.517	2.832	2.171	107.241
1.3	1.229	22.017	14.388	12.086	13.61	2.748	2.103	97.204
1.2	1.329	18.105	11.832	9.939	13.71	2.658	2.034	85.894
1.1	1.429	14.606	9.545	8.018	13.807	2.553	1.965	71.373
1	1.529	11.526	7.532	6.327	13.897	2.425	1.896	59.944
0.9	1.629	8.79	5.744	4.825	13.999	2.287	1.826	49.765
0.8	1.729	6.453	4.217	3.542	14.103	2.13	1.755	37.809



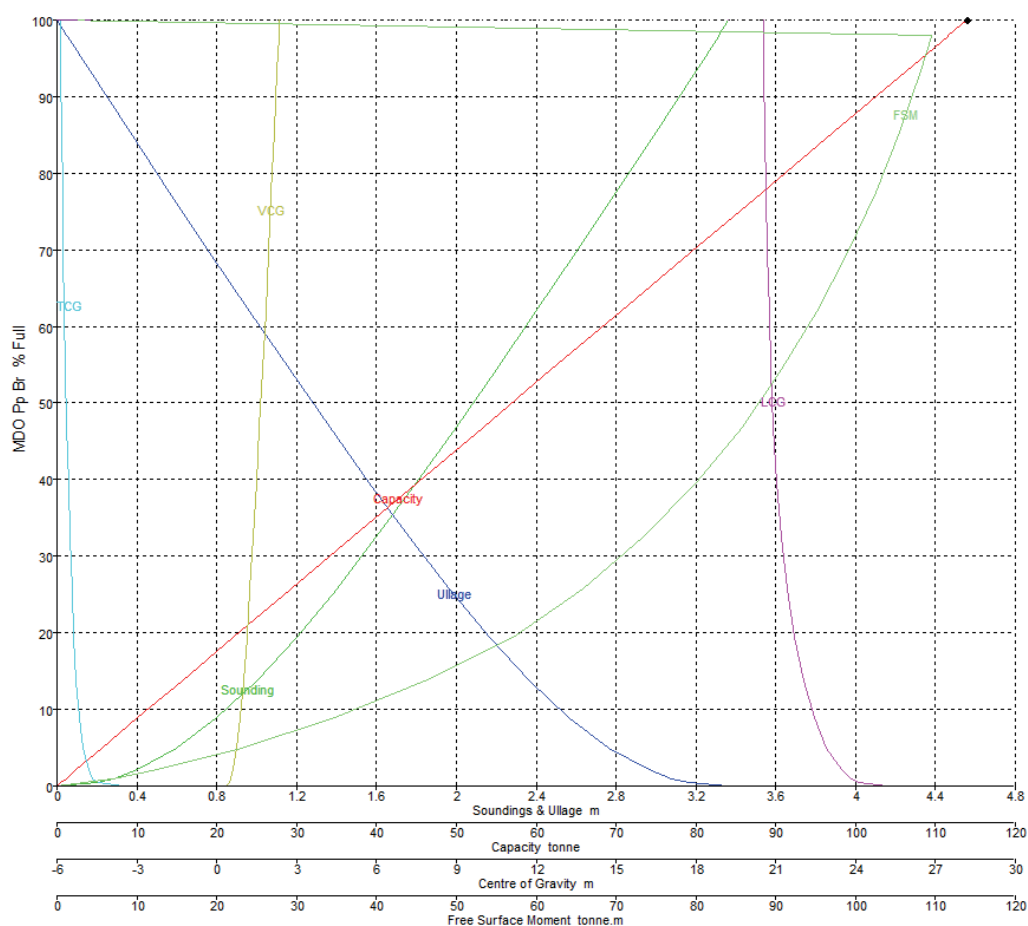
0.7	1.829	4.546	2.971	2.496	14.19	1.928	1.684	26.829
0.6	1.929	2.984	1.95	1.638	14.291	1.709	1.611	18.35
0.5	2.029	1.802	1.178	0.989	14.399	1.469	1.537	9.707
0.402	2.126	1	0.653	0.549	14.48	1.199	1.467	4.599
0.4	2.129	0.983	0.643	0.54	14.483	1.192	1.465	4.509
0.3	2.229	0.437	0.286	0.24	14.61	0.947	1.39	1.683
0.2	2.329	0.147	0.096	0.081	14.696	0.652	1.319	0.396
0.1	2.429	0.022	0.015	0.012	14.827	0.364	1.244	0.031
0	2.529	0	0	0	14.952	0	1.171	0



MDO Pp Br								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
3.365	0	100	135.608	113.91	20.53	-5.875	2.363	0
3.315	0.05	98	132.896	111.632	20.537	-5.869	2.336	109.55
3.313	0.052	97.9	132.76	111.518	20.538	-5.869	2.335	109.522
3.2	0.165	93.381	126.631	106.37	20.557	-5.854	2.274	108.176
3	0.365	85.4	115.809	97.28	20.594	-5.826	2.165	105.498
2.8	0.565	77.494	105.087	88.273	20.637	-5.795	2.056	102.476
2.6	0.765	69.673	94.482	79.365	20.689	-5.761	1.946	99.027
2.4	0.965	61.953	84.013	70.571	20.751	-5.722	1.835	95.164



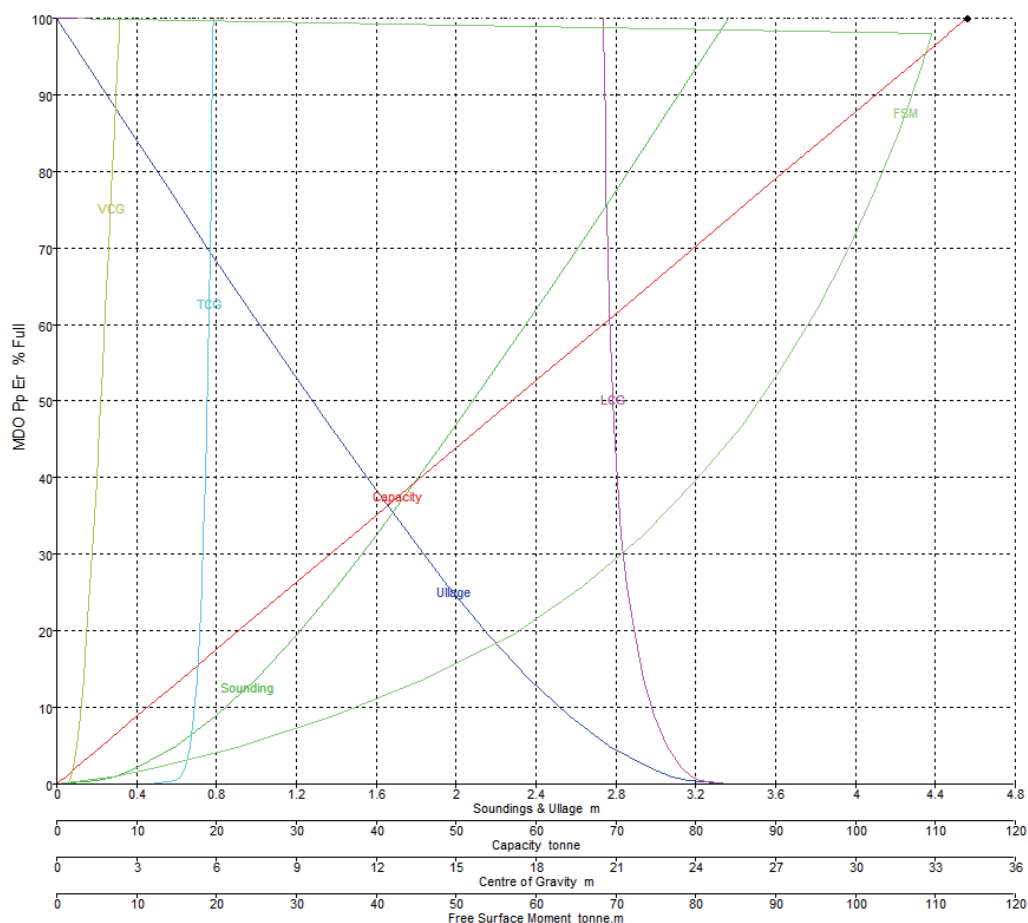
2.2	1.165	54.35	73.703	61.91	20.826	-5.679	1.723	90.764
2	1.365	46.887	63.582	53.409	20.921	-5.63	1.61	85.797
1.8	1.565	39.595	53.693	45.102	21.042	-5.575	1.494	80.006
1.6	1.765	32.519	44.098	37.042	21.202	-5.511	1.377	73.375
1.4	1.965	25.733	34.897	29.313	21.418	-5.44	1.255	65.775
1.2	2.165	19.38	26.281	22.076	21.706	-5.362	1.13	57.073
1	2.365	13.706	18.586	15.612	22.051	-5.272	1.003	46.065
0.8	2.565	8.864	12.02	10.097	22.447	-5.163	0.875	34.714
0.6	2.765	4.96	6.727	5.65	22.907	-5.021	0.745	23.126
0.4	2.965	2.104	2.853	2.397	23.458	-4.818	0.613	12.516
0.287	3.078	1	1.356	1.139	23.833	-4.651	0.538	7.007
0.2	3.165	0.427	0.579	0.486	24.161	-4.467	0.478	3.393
0	3.365	0	0	0	25.167	-3.501	0.335	0



MDO Pp Er								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
3.365	0	100	135.608	113.91	20.53	5.875	2.363	0
3.315	0.05	98	132.896	111.632	20.537	5.869	2.336	109.55
3.313	0.052	97.9	132.76	111.518	20.538	5.869	2.335	109.522
3.2	0.165	93.381	126.631	106.37	20.557	5.854	2.274	108.176

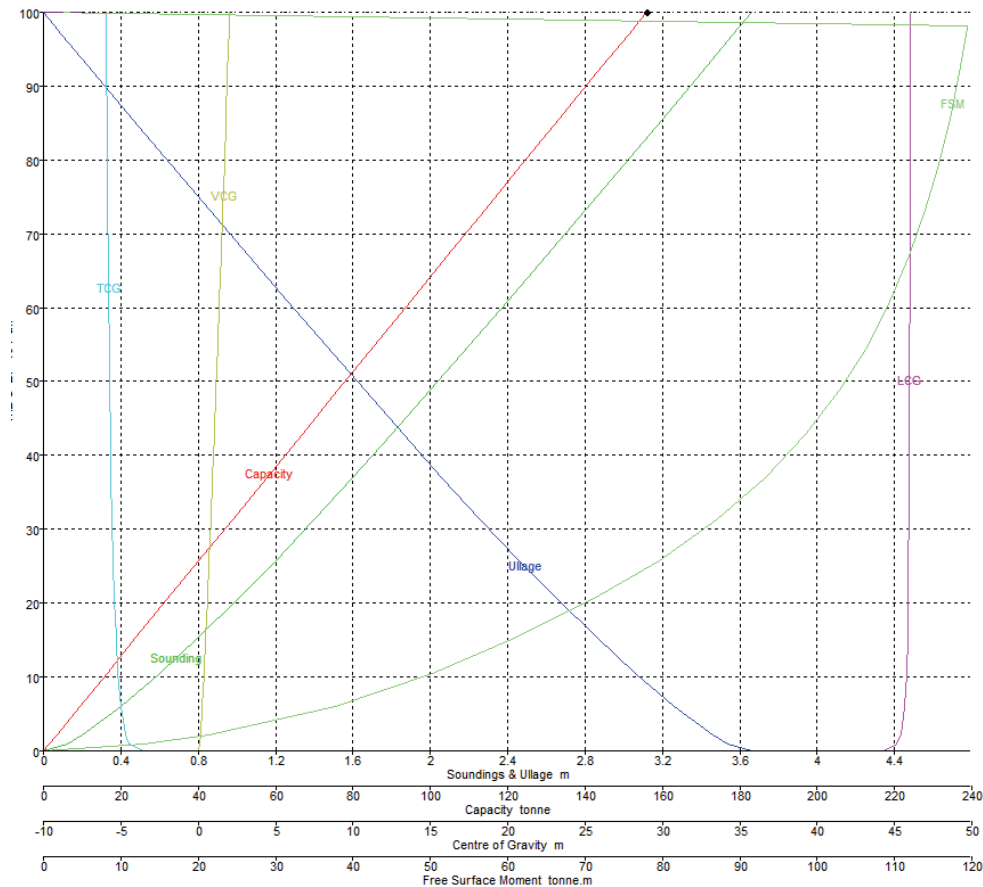


3	0.365	85.4	115.809	97.28	20.594	5.826	2.165	105.498
2.8	0.565	77.494	105.087	88.273	20.637	5.795	2.056	102.476
2.6	0.765	69.673	94.482	79.365	20.689	5.761	1.946	99.027
2.4	0.965	61.953	84.013	70.571	20.751	5.722	1.835	95.164
2.2	1.165	54.35	73.703	61.91	20.826	5.679	1.723	90.764
2	1.365	46.887	63.582	53.409	20.921	5.63	1.61	85.797
1.8	1.565	39.595	53.693	45.102	21.042	5.575	1.494	80.006
1.6	1.765	32.519	44.098	37.042	21.202	5.511	1.377	73.375
1.4	1.965	25.733	34.897	29.313	21.418	5.44	1.255	65.775
1.2	2.165	19.38	26.281	22.076	21.706	5.362	1.13	57.073
1	2.365	13.706	18.586	15.612	22.051	5.272	1.003	46.065
0.8	2.565	8.864	12.02	10.097	22.447	5.163	0.875	34.714
0.6	2.765	4.96	6.727	5.65	22.907	5.021	0.745	23.126
0.4	2.965	2.104	2.853	2.397	23.458	4.818	0.613	12.516
0.287	3.078	1	1.356	1.139	23.833	4.651	0.538	7.007
0.2	3.165	0.427	0.579	0.486	24.161	4.467	0.478	3.393
0	3.365	0	0	0	25.167	3.501	0.335	0





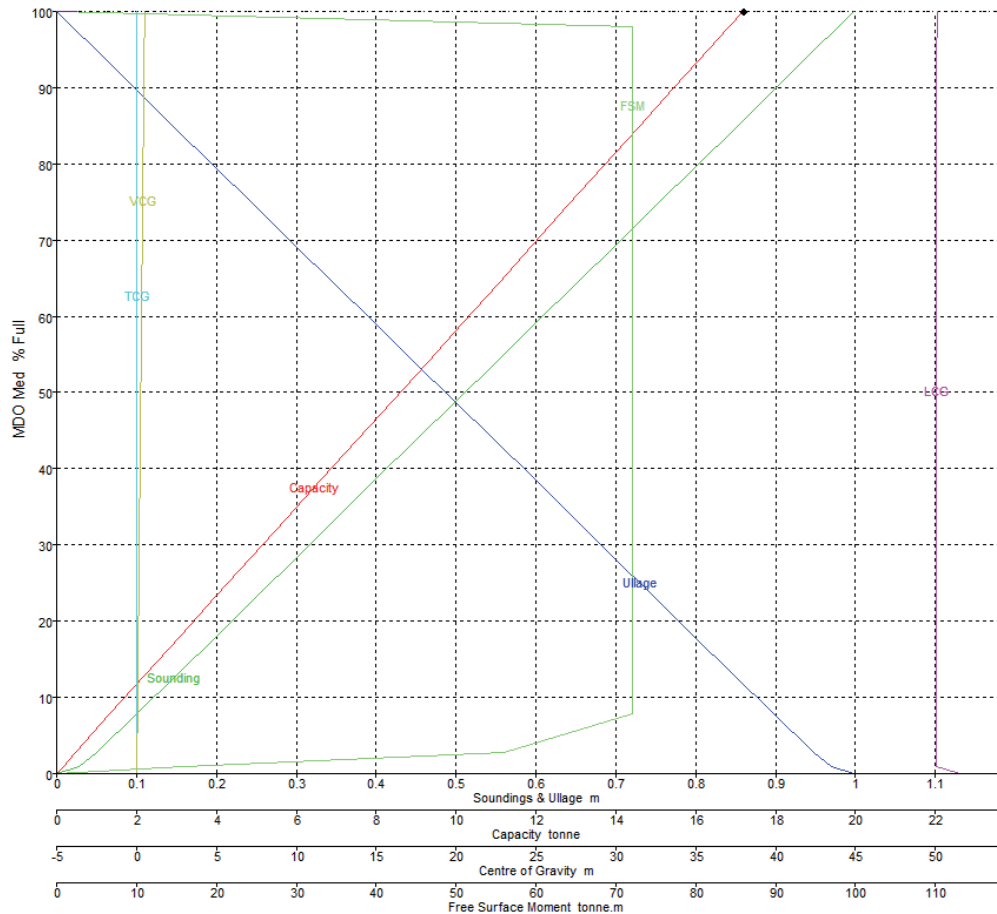
MDO Br								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
3.661	0	100	185.546	155.859	46.035	-5.942	2.037	0
3.6	0.061	98.093	182.008	152.886	46.034	-5.937	2.006	119.455
3.597	0.064	98	181.835	152.741	46.033	-5.937	2.004	119.441
3.594	0.067	97.9	181.649	152.585	46.033	-5.937	2.002	119.425
3.4	0.261	91.817	170.362	143.104	46.027	-5.92	1.901	118.411
3.2	0.461	85.561	158.755	133.354	46.02	-5.9	1.796	117.136
3	0.661	79.331	147.196	123.645	46.013	-5.878	1.69	115.672
2.8	0.861	73.131	135.692	113.982	46.005	-5.854	1.584	113.932
2.6	1.061	66.967	124.255	104.374	45.996	-5.826	1.478	111.911
2.4	1.261	60.846	112.897	94.834	45.986	-5.796	1.371	109.457
2.2	1.461	54.777	101.637	85.375	45.975	-5.761	1.264	106.535
2	1.661	48.774	90.499	76.019	45.963	-5.721	1.156	102.902
1.8	1.861	42.852	79.511	66.789	45.949	-5.676	1.047	98.546
1.6	2.061	37.032	68.712	57.718	45.934	-5.624	0.939	93.249
1.4	2.261	31.337	58.145	48.842	45.917	-5.564	0.829	86.917
1.2	2.461	25.797	47.866	40.207	45.897	-5.494	0.72	79.544
1	2.661	20.449	37.942	31.871	45.872	-5.412	0.61	70.934
0.8	2.861	15.334	28.451	23.899	45.837	-5.312	0.5	61.204
0.6	3.061	10.509	19.499	16.379	45.781	-5.187	0.389	50.319
0.4	3.261	6.063	11.249	9.449	45.677	-5.01	0.278	37.766
0.2	3.461	2.207	4.095	3.439	45.408	-4.702	0.164	21.388
0.122	3.538	1	1.855	1.559	45.142	-4.478	0.118	12.965
0	3.661	0	0	0	44.312	-3.502	0.039	0



MDO Med								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
0.998	0	100	20.453	17.18	50.098	0	0.513	0
0.978	0.019	98	20.044	16.837	50.098	0	0.503	72.03
0.978	0.02	97.9	20.023	16.82	50.098	0	0.503	72.03
0.95	0.048	95.076	19.446	16.334	50.098	0	0.489	72.03
0.9	0.098	89.942	18.396	15.452	50.098	0	0.464	72.03
0.85	0.148	84.808	17.346	14.57	50.098	0	0.439	72.03
0.8	0.198	79.675	16.296	13.688	50.098	0	0.414	72.03
0.75	0.248	74.541	15.246	12.806	50.098	0	0.389	72.03
0.7	0.298	69.407	14.196	11.924	50.098	0	0.364	72.03
0.65	0.348	64.273	13.146	11.042	50.097	0	0.339	72.03
0.6	0.398	59.14	12.096	10.16	50.097	0	0.314	72.03
0.55	0.448	54.006	11.046	9.278	50.097	0	0.289	72.03
0.5	0.498	48.872	9.996	8.396	50.097	0	0.264	72.03
0.45	0.548	43.738	8.946	7.514	50.096	0	0.239	72.03
0.4	0.598	38.605	7.896	6.632	50.096	0	0.214	72.03
0.35	0.648	33.471	6.846	5.75	50.095	0	0.189	72.03
0.3	0.698	28.337	5.796	4.868	50.094	0	0.164	72.03
0.25	0.748	23.204	4.746	3.986	50.093	0	0.138	72.03
0.2	0.798	18.07	3.696	3.104	50.091	0	0.113	72.03
0.15	0.848	12.936	2.646	2.222	50.087	0	0.088	72.03



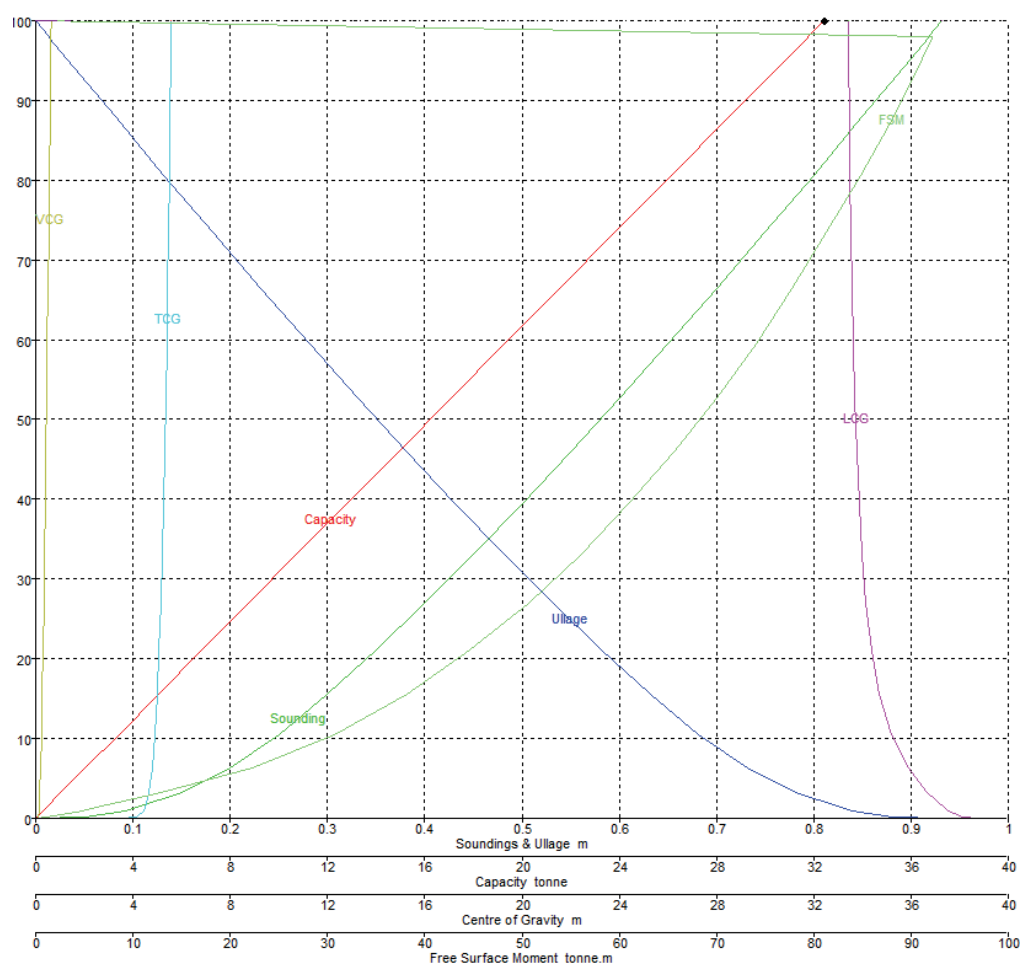
0.1	0.898	7.802	1.596	1.34	50.079	0	0.062	72.03
0.05	0.948	2.728	0.558	0.469	50.057	0	0.034	56.067
0.028	0.97	1	0.205	0.172	50.074	0	0.02	15.952
0	0.998	0	0	0	51.505	0	0.002	0



MDO CCMM Er								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
0.932	0	100	38.599	32.423	33.425	5.567	0.633	0
0.918	0.013	98	37.827	31.775	33.431	5.56	0.626	92.195
0.918	0.014	97.9	37.789	31.742	33.431	5.56	0.626	92.156
0.9	0.032	95.291	36.782	30.896	33.44	5.551	0.616	91.154
0.85	0.082	87.932	33.941	28.511	33.468	5.524	0.589	88.198
0.8	0.132	80.661	31.135	26.153	33.5	5.495	0.561	84.867
0.75	0.182	73.491	28.367	23.828	33.537	5.465	0.534	81.336
0.7	0.232	66.428	25.641	21.538	33.58	5.432	0.506	77.741
0.65	0.282	59.477	22.958	19.284	33.632	5.396	0.478	74.035
0.6	0.332	52.65	20.323	17.071	33.693	5.356	0.45	70.054
0.55	0.382	45.967	17.743	14.904	33.769	5.312	0.422	65.572
0.5	0.432	39.444	15.225	12.789	33.865	5.264	0.394	60.973
0.45	0.482	33.101	12.777	10.733	33.988	5.209	0.365	56.129



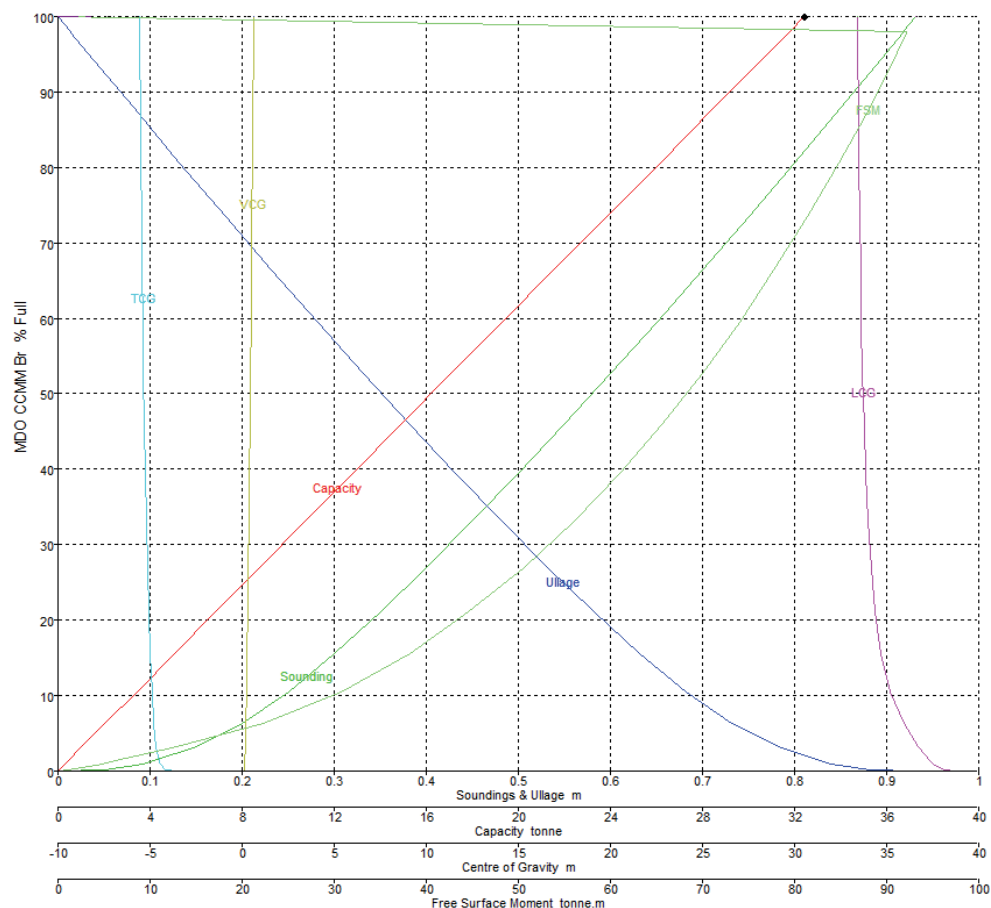
0.4	0.532	26.971	10.41	8.745	34.152	5.146	0.336	50.645
0.35	0.582	21.108	8.147	6.844	34.38	5.075	0.307	44.603
0.3	0.632	15.584	6.015	5.053	34.714	4.992	0.276	38.17
0.25	0.682	10.549	4.072	3.42	35.22	4.899	0.243	30.756
0.2	0.732	6.309	2.435	2.045	35.929	4.801	0.209	22.264
0.15	0.782	3.191	1.232	1.035	36.687	4.676	0.174	12.86
0.1	0.832	1.204	0.465	0.39	37.402	4.485	0.14	5.648
0.093	0.839	1	0.386	0.324	37.507	4.449	0.135	4.817
0.05	0.882	0.211	0.081	0.068	38.12	4.162	0.104	1.086
0	0.932	0	0	0	38.754	3.503	0.068	0



MDO CCMM Br								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
0.932	0	100	38.599	32.423	33.425	-5.567	0.633	0
0.918	0.013	98	37.827	31.775	33.431	-5.56	0.626	92.195
0.918	0.014	97.9	37.789	31.742	33.431	-5.56	0.626	92.156
0.9	0.032	95.291	36.782	30.896	33.44	-5.551	0.616	91.154
0.85	0.082	87.932	33.941	28.511	33.468	-5.524	0.589	88.198
0.8	0.132	80.661	31.135	26.153	33.5	-5.495	0.561	84.867

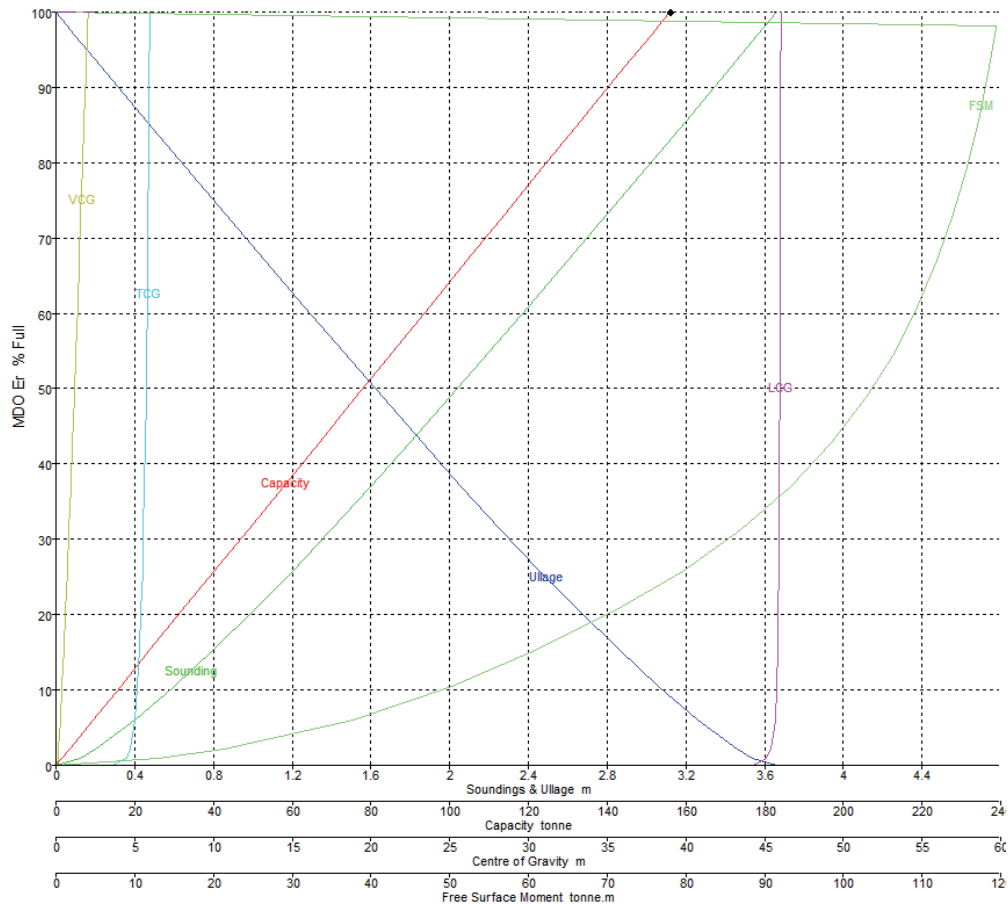


0.75	0.182	73.491	28.367	23.828	33.537	-5.465	0.534	81.336
0.7	0.232	66.428	25.641	21.538	33.58	-5.432	0.506	77.741
0.65	0.282	59.477	22.958	19.284	33.632	-5.396	0.478	74.035
0.6	0.332	52.65	20.323	17.071	33.693	-5.356	0.45	70.054
0.55	0.382	45.967	17.743	14.904	33.769	-5.312	0.422	65.572
0.5	0.432	39.444	15.225	12.789	33.865	-5.264	0.394	60.973
0.45	0.482	33.101	12.777	10.733	33.988	-5.209	0.365	56.129
0.4	0.532	26.971	10.41	8.745	34.152	-5.146	0.336	50.645
0.35	0.582	21.108	8.147	6.844	34.38	-5.075	0.307	44.603
0.3	0.632	15.584	6.015	5.053	34.714	-4.992	0.276	38.17
0.25	0.682	10.549	4.072	3.42	35.22	-4.899	0.243	30.756
0.2	0.732	6.309	2.435	2.045	35.929	-4.801	0.209	22.264
0.15	0.782	3.191	1.232	1.035	36.687	-4.676	0.174	12.86
0.1	0.832	1.204	0.465	0.39	37.402	-4.485	0.14	5.648
0.093	0.839	1	0.386	0.324	37.507	-4.449	0.135	4.817
0.05	0.882	0.211	0.081	0.068	38.12	-4.162	0.104	1.086
0	0.932	0	0	0	38.754	-3.503	0.068	0





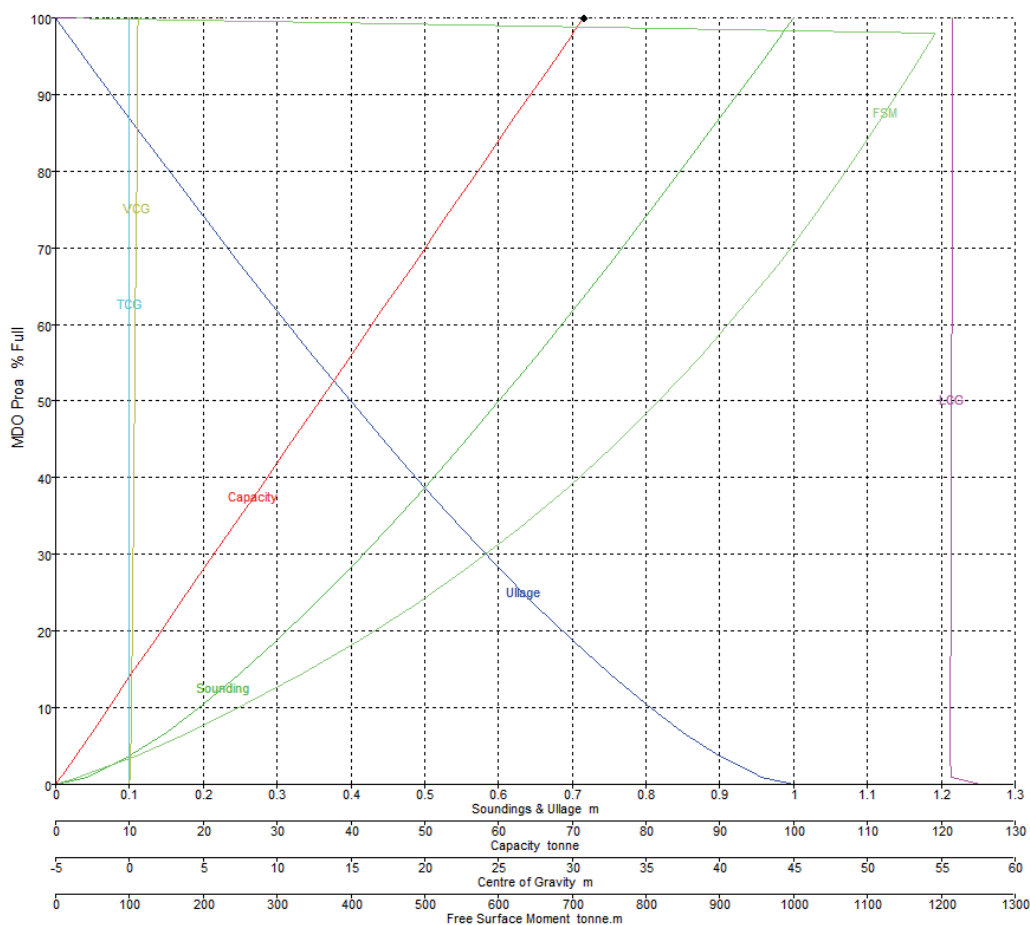
MDO Er								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
3.661	0	100	185.546	155.859	46.035	5.942	2.037	0
3.6	0.061	98.093	182.008	152.886	46.034	5.937	2.006	119.455
3.597	0.064	98	181.835	152.741	46.033	5.937	2.004	119.441
3.594	0.067	97.9	181.649	152.585	46.033	5.937	2.002	119.425
3.4	0.261	91.817	170.362	143.104	46.027	5.92	1.901	118.411
3.2	0.461	85.561	158.755	133.354	46.02	5.9	1.796	117.136
3	0.661	79.331	147.196	123.645	46.013	5.878	1.69	115.672
2.8	0.861	73.131	135.692	113.982	46.005	5.854	1.584	113.932
2.6	1.061	66.967	124.255	104.374	45.996	5.826	1.478	111.911
2.4	1.261	60.846	112.897	94.834	45.986	5.796	1.371	109.457
2.2	1.461	54.777	101.637	85.375	45.975	5.761	1.264	106.535
2	1.661	48.774	90.499	76.019	45.963	5.721	1.156	102.902
1.8	1.861	42.852	79.511	66.789	45.949	5.676	1.047	98.546
1.6	2.061	37.032	68.712	57.718	45.934	5.624	0.939	93.249
1.4	2.261	31.337	58.145	48.842	45.917	5.564	0.829	86.917
1.2	2.461	25.797	47.866	40.207	45.897	5.494	0.72	79.544
1	2.661	20.449	37.942	31.871	45.872	5.412	0.61	70.934
0.8	2.861	15.334	28.451	23.899	45.837	5.312	0.5	61.204
0.6	3.061	10.509	19.499	16.379	45.781	5.187	0.389	50.319
0.4	3.261	6.063	11.249	9.449	45.677	5.01	0.278	37.766
0.2	3.461	2.207	4.095	3.439	45.408	4.702	0.164	21.388
0.122	3.538	1	1.855	1.559	45.142	4.478	0.118	12.965
0	3.661	0	0	0	44.312	3.502	0.039	0



MDO Proa								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
1	0	100	85.143	71.52	55.791	0	0.579	0
0.985	0.015	98	83.441	70.09	55.788	0	0.57	1191.48
0.984	0.016	97.9	83.355	70.019	55.788	0	0.57	1190.865
0.95	0.05	93.376	79.504	66.783	55.781	0	0.55	1162.61
0.9	0.1	86.84	73.939	62.109	55.77	0	0.522	1119.311
0.85	0.15	80.4	68.455	57.502	55.759	0	0.494	1074.448
0.8	0.2	74.062	63.059	52.97	55.747	0	0.466	1027.359
0.75	0.25	67.835	57.757	48.516	55.735	0	0.437	978.763
0.7	0.3	61.727	52.556	44.147	55.723	0	0.409	926.928
0.65	0.35	55.749	47.467	39.872	55.711	0	0.38	872.949
0.6	0.4	49.914	42.498	35.698	55.698	0	0.352	816.397
0.55	0.45	44.233	37.662	31.636	55.685	0	0.323	756.707
0.5	0.5	38.723	32.97	27.695	55.673	0	0.294	693.784
0.45	0.55	33.401	28.438	23.888	55.662	0	0.265	628.411
0.4	0.6	28.286	24.084	20.23	55.652	0	0.236	559.315
0.35	0.65	23.403	19.926	16.738	55.643	0	0.207	487.184
0.3	0.7	18.779	15.989	13.431	55.636	0	0.178	411.861



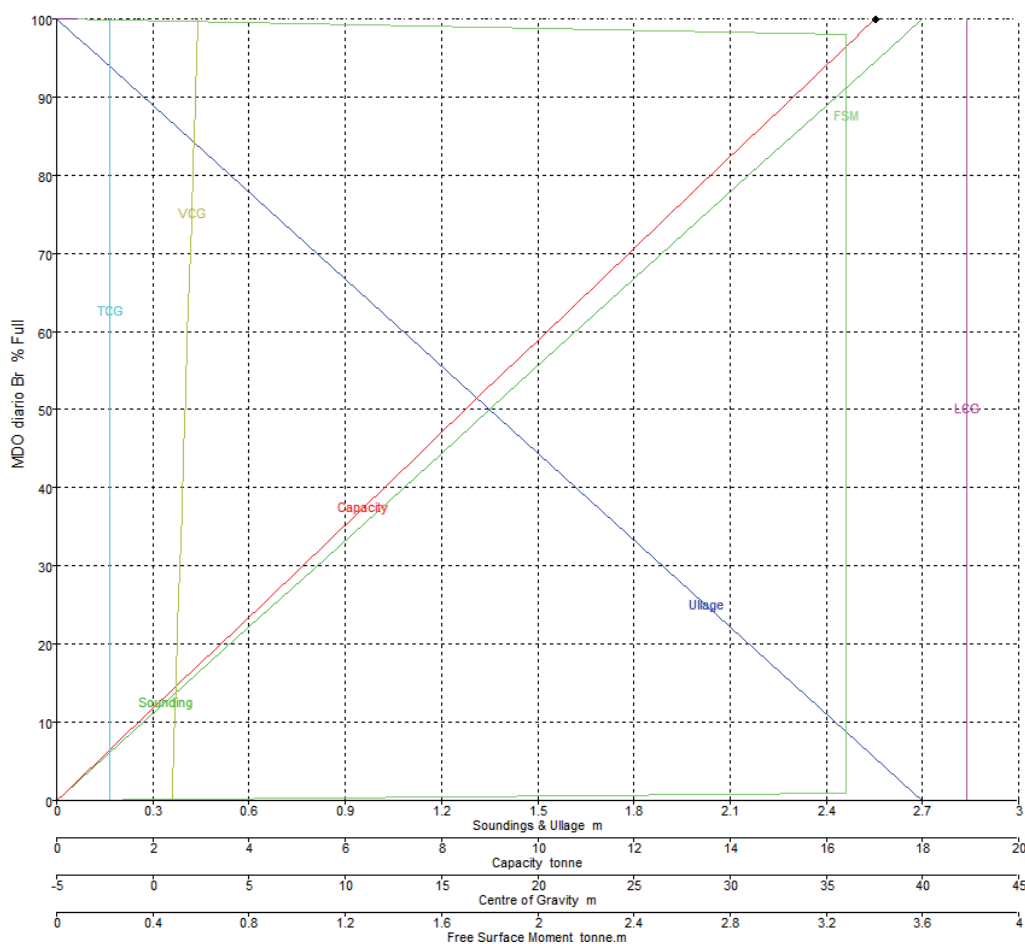
0.25	0.75	14.449	12.302	10.334	55.631	0	0.149	334.895
0.2	0.8	10.454	8.901	7.477	55.628	0	0.12	257.076
0.15	0.85	6.849	5.832	4.899	55.625	0	0.091	180.955
0.1	0.9	3.718	3.166	2.659	55.622	0	0.061	108.56
0.05	0.95	1.236	1.052	0.884	55.636	0	0.031	38.992
0.044	0.956	1	0.851	0.715	55.64	0	0.028	31.078
0	1	0	0	0	57.674	0	0	0



MDO diario Br								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
2.7	0	100	20.25	17.01	42.3	-2.25	2.35	0
2.646	0.054	98	19.845	16.67	42.3	-2.25	2.323	3.281
2.643	0.057	97.9	19.825	16.653	42.3	-2.25	2.322	3.281
2.6	0.1	96.296	19.5	16.38	42.3	-2.25	2.3	3.281
2.4	0.3	88.889	18	15.12	42.3	-2.25	2.2	3.281
2.2	0.5	81.481	16.5	13.86	42.3	-2.25	2.1	3.281
2	0.7	74.074	15	12.6	42.3	-2.25	2	3.281
1.8	0.9	66.667	13.5	11.34	42.3	-2.25	1.9	3.281
1.6	1.1	59.259	12	10.08	42.3	-2.25	1.8	3.281



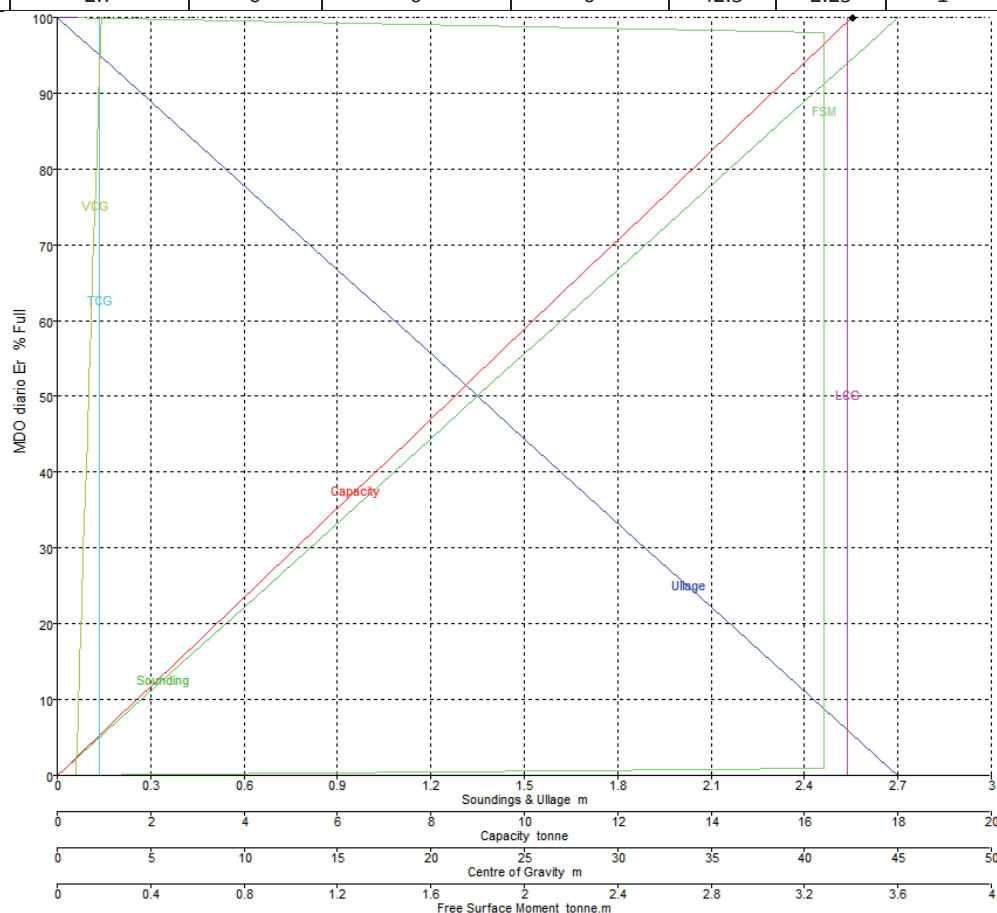
1.4	1.3	51.852	10.5	8.82	42.3	-2.25	1.7	3.281
1.2	1.5	44.444	9	7.56	42.3	-2.25	1.6	3.281
1	1.7	37.037	7.5	6.3	42.3	-2.25	1.5	3.281
0.8	1.9	29.63	6	5.04	42.3	-2.25	1.4	3.281
0.6	2.1	22.222	4.5	3.78	42.3	-2.25	1.3	3.281
0.4	2.3	14.815	3	2.52	42.3	-2.25	1.2	3.281
0.2	2.5	7.407	1.5	1.26	42.3	-2.25	1.1	3.281
0.027	2.673	1	0.203	0.17	42.3	-2.25	1.014	3.281
0	2.7	0	0	0	42.3	-2.25	1	0



MDO diario Er								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
2.7	0	100	20.25	17.01	42.3	2.25	2.35	0
2.646	0.054	98	19.845	16.67	42.3	2.25	2.323	3.281
2.643	0.057	97.9	19.825	16.653	42.3	2.25	2.322	3.281
2.6	0.1	96.296	19.5	16.38	42.3	2.25	2.3	3.281
2.4	0.3	88.889	18	15.12	42.3	2.25	2.2	3.281
2.2	0.5	81.481	16.5	13.86	42.3	2.25	2.1	3.281
2	0.7	74.074	15	12.6	42.3	2.25	2	3.281



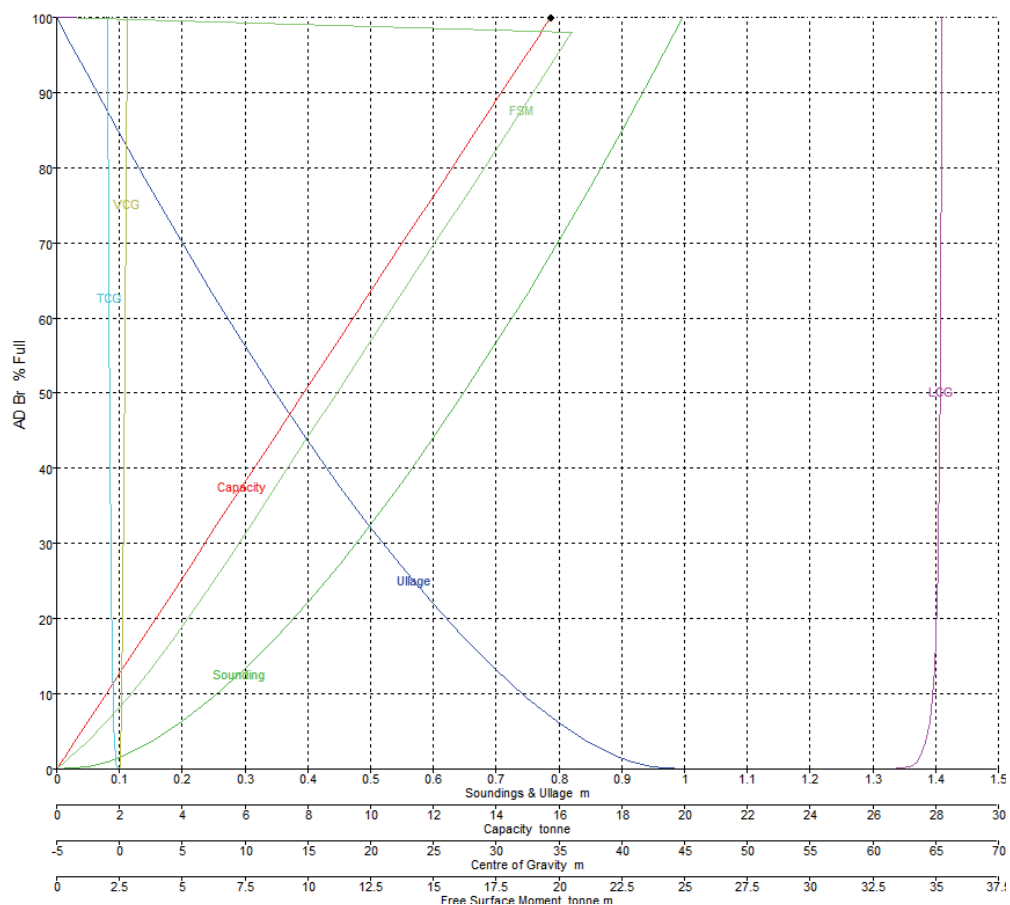
1.8	0.9	66.667	13.5	11.34	42.3	2.25	1.9	3.281
1.6	1.1	59.259	12	10.08	42.3	2.25	1.8	3.281
1.4	1.3	51.852	10.5	8.82	42.3	2.25	1.7	3.281
1.2	1.5	44.444	9	7.56	42.3	2.25	1.6	3.281
1	1.7	37.037	7.5	6.3	42.3	2.25	1.5	3.281
0.8	1.9	29.63	6	5.04	42.3	2.25	1.4	3.281
0.6	2.1	22.222	4.5	3.78	42.3	2.25	1.3	3.281
0.4	2.3	14.815	3	2.52	42.3	2.25	1.2	3.281
0.2	2.5	7.407	1.5	1.26	42.3	2.25	1.1	3.281
0.027	2.673	1	0.203	0.17	42.3	2.25	1.014	3.281
0	2.7	0	0	0	42.3	2.25	1	0



AD Br								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
0.997	0	100	15.737	15.737	65.502	-0.963	0.622	0
0.985	0.013	98	15.422	15.422	65.499	-0.957	0.615	20.508
0.984	0.013	97.9	15.407	15.407	65.498	-0.957	0.614	20.489
0.95	0.047	92.604	14.573	14.573	65.488	-0.941	0.594	19.467
0.9	0.097	84.962	13.371	13.371	65.472	-0.917	0.564	17.993
0.85	0.147	77.54	12.203	12.203	65.453	-0.893	0.534	16.547
0.8	0.197	70.345	11.07	11.07	65.432	-0.868	0.504	15.134
0.75	0.247	63.385	9.975	9.975	65.408	-0.843	0.474	13.768

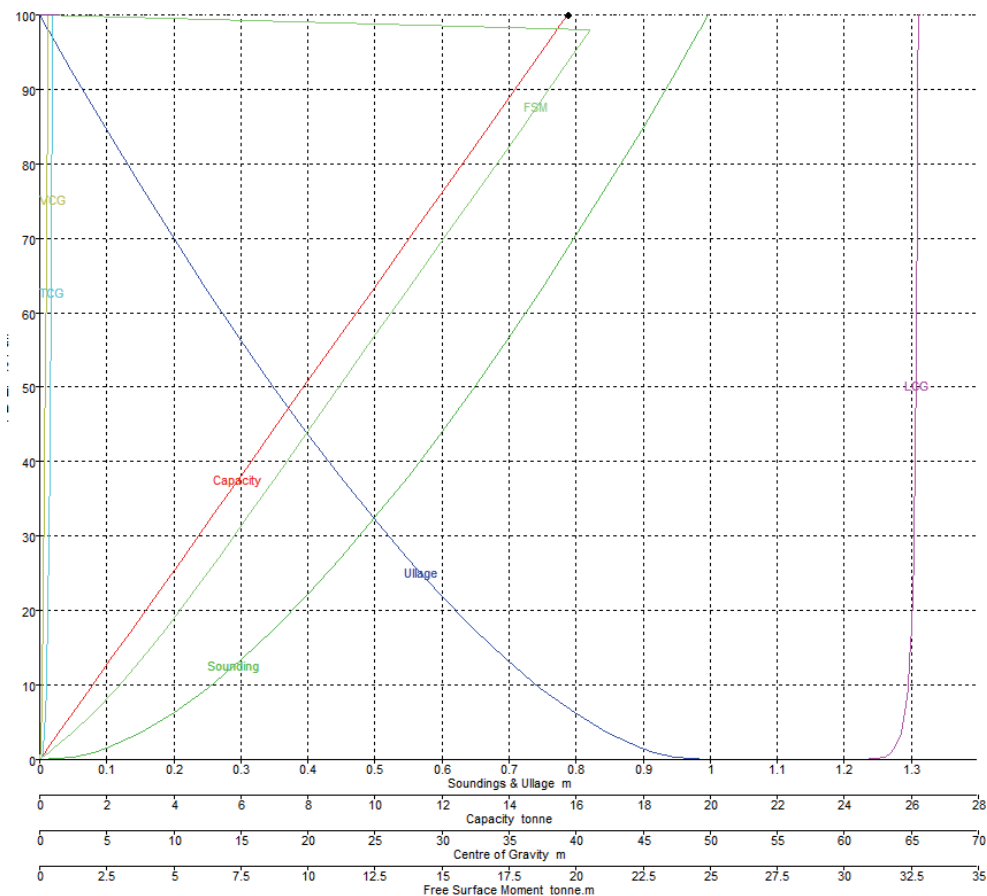


0.7	0.297	56.669	8.918	8.918	65.38	-0.816	0.443	12.448
0.65	0.347	50.207	7.901	7.901	65.349	-0.789	0.413	11.191
0.6	0.397	44.01	6.926	6.926	65.312	-0.76	0.383	9.98
0.55	0.447	38.091	5.994	5.994	65.269	-0.73	0.353	8.833
0.5	0.497	32.465	5.109	5.109	65.219	-0.698	0.322	7.737
0.45	0.547	27.151	4.273	4.273	65.159	-0.665	0.292	6.681
0.4	0.597	22.171	3.489	3.489	65.087	-0.628	0.261	5.673
0.35	0.647	17.553	2.762	2.762	64.997	-0.589	0.23	4.71
0.3	0.697	13.331	2.098	2.098	64.882	-0.546	0.199	3.769
0.25	0.747	9.551	1.503	1.503	64.73	-0.498	0.168	2.86
0.2	0.797	6.272	0.987	0.987	64.52	-0.443	0.136	1.999
0.15	0.847	3.577	0.563	0.563	64.218	-0.378	0.104	1.202
0.1	0.897	1.568	0.247	0.247	63.762	-0.298	0.071	0.525
0.081	0.916	1	0.157	0.157	63.519	-0.262	0.058	0.323
0.05	0.947	0.358	0.056	0.056	63.024	-0.196	0.037	0.1
0	0.997	0	0	0	61.451	-0.003	0.003	0





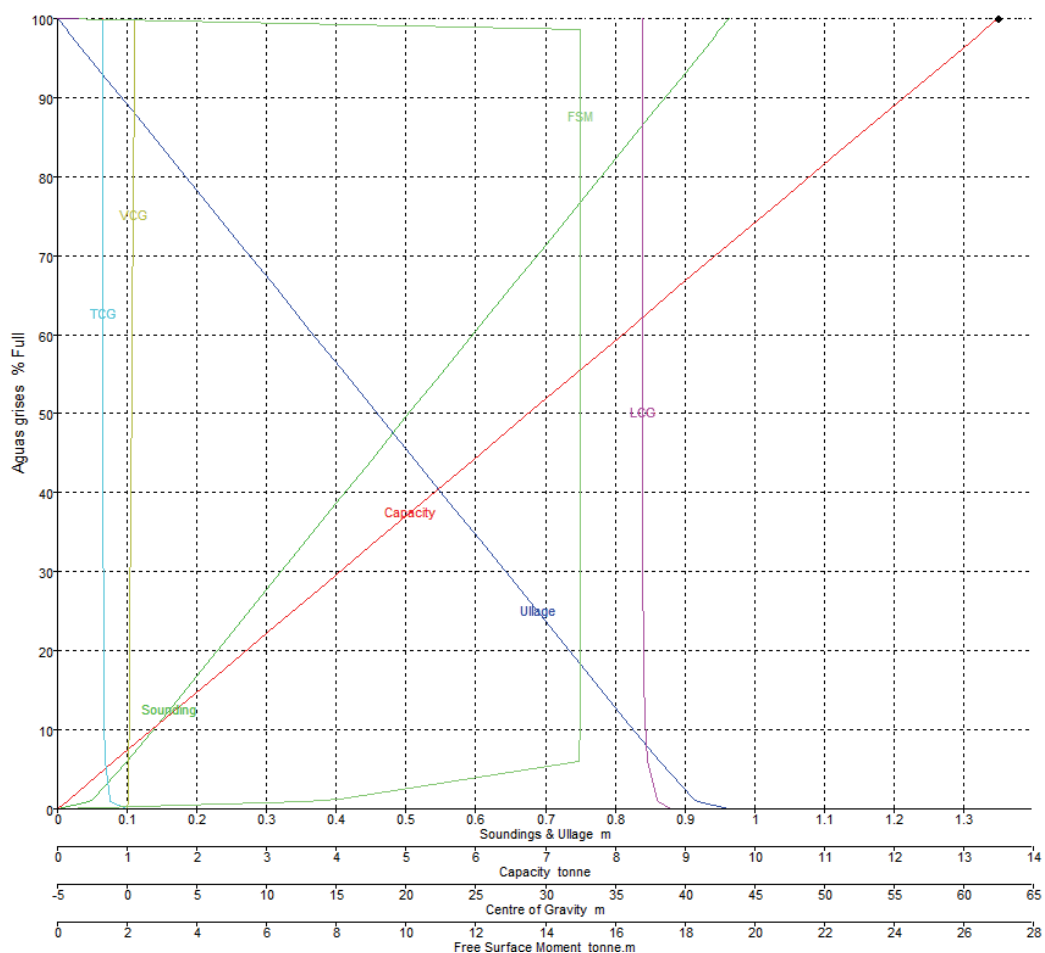
AD Er								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
0.997	0	100	15.737	15.737	65.502	0.963	0.622	0
0.985	0.013	98	15.422	15.422	65.499	0.957	0.615	20.508
0.984	0.013	97.9	15.407	15.407	65.498	0.957	0.614	20.489
0.95	0.047	92.604	14.573	14.573	65.488	0.941	0.594	19.467
0.9	0.097	84.962	13.371	13.371	65.472	0.917	0.564	17.993
0.85	0.147	77.54	12.203	12.203	65.453	0.893	0.534	16.547
0.8	0.197	70.345	11.07	11.07	65.432	0.868	0.504	15.134
0.75	0.247	63.385	9.975	9.975	65.408	0.843	0.474	13.768
0.7	0.297	56.669	8.918	8.918	65.38	0.816	0.443	12.448
0.65	0.347	50.207	7.901	7.901	65.349	0.789	0.413	11.191
0.6	0.397	44.01	6.926	6.926	65.312	0.76	0.383	9.98
0.55	0.447	38.091	5.994	5.994	65.269	0.73	0.353	8.833
0.5	0.497	32.465	5.109	5.109	65.219	0.698	0.322	7.737
0.45	0.547	27.151	4.273	4.273	65.159	0.665	0.292	6.681
0.4	0.597	22.171	3.489	3.489	65.087	0.628	0.261	5.673
0.35	0.647	17.553	2.762	2.762	64.997	0.589	0.23	4.71
0.3	0.697	13.331	2.098	2.098	64.882	0.546	0.199	3.769
0.25	0.747	9.551	1.503	1.503	64.73	0.498	0.168	2.86
0.2	0.797	6.272	0.987	0.987	64.52	0.443	0.136	1.999
0.15	0.847	3.577	0.563	0.563	64.218	0.378	0.104	1.202
0.1	0.897	1.568	0.247	0.247	63.762	0.298	0.071	0.525
0.081	0.916	1	0.157	0.157	63.519	0.262	0.058	0.323
0.05	0.947	0.358	0.056	0.056	63.024	0.196	0.037	0.1
0	0.997	0	0	0	61.451	0.003	0.003	0



Aguas grises								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
0.963	0	100	13.496	13.496	36.925	-1.739	0.541	0
0.95	0.013	98.561	13.302	13.302	36.925	-1.739	0.534	15.006
0.945	0.018	98	13.226	13.226	36.925	-1.739	0.532	15.006
0.944	0.019	97.9	13.212	13.212	36.925	-1.739	0.531	15.006
0.9	0.063	93.115	12.567	12.567	36.926	-1.738	0.509	15.006
0.85	0.113	87.669	11.832	11.832	36.928	-1.737	0.484	15.006
0.8	0.163	82.223	11.097	11.097	36.93	-1.736	0.459	15.006
0.75	0.213	76.776	10.362	10.362	36.932	-1.735	0.434	15.006
0.7	0.263	71.33	9.627	9.627	36.935	-1.734	0.409	15.006
0.65	0.313	65.884	8.892	8.892	36.937	-1.733	0.384	15.006
0.6	0.363	60.438	8.157	8.157	36.941	-1.731	0.359	15.006
0.55	0.413	54.992	7.422	7.422	36.945	-1.73	0.334	15.006
0.5	0.463	49.546	6.687	6.687	36.95	-1.727	0.309	15.006
0.45	0.513	44.099	5.952	5.952	36.956	-1.724	0.284	15.006
0.4	0.563	38.653	5.217	5.217	36.964	-1.721	0.259	15.006
0.35	0.613	33.207	4.482	4.482	36.974	-1.716	0.234	15.006
0.3	0.663	27.761	3.747	3.747	36.989	-1.709	0.208	15.006
0.25	0.713	22.315	3.012	3.012	37.011	-1.7	0.183	15.006
0.2	0.763	16.869	2.277	2.277	37.046	-1.683	0.158	15.006



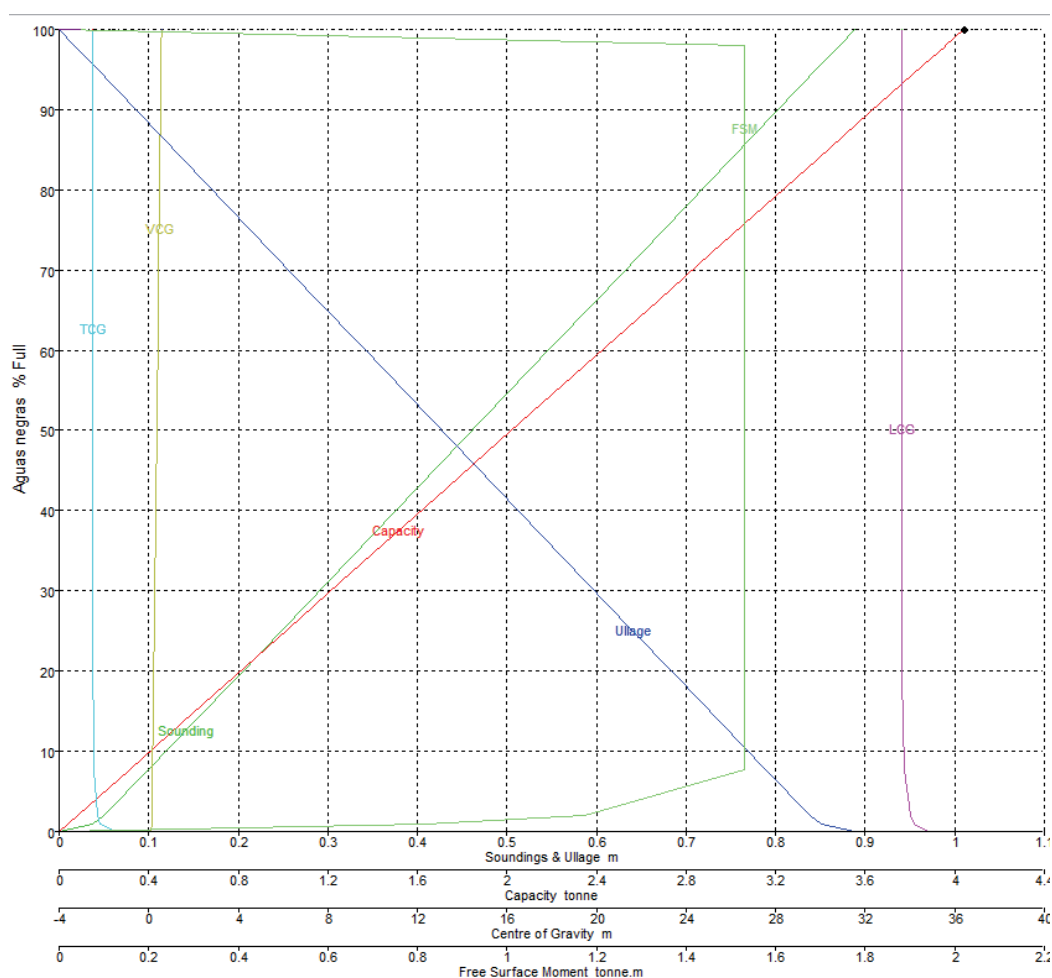
0.15	0.813	11.422	1.542	1.542	37.116	-1.652	0.132	15.006
0.1	0.863	5.976	0.807	0.807	37.313	-1.562	0.105	14.97
0.05	0.913	1.271	0.171	0.171	38.043	-1.269	0.073	8.088
0.046	0.918	1	0.135	0.135	38.127	-1.214	0.07	7.072
0	0.963	0	0	0	38.976	-0.004	0.037	0



Aguas negras								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
0.888	0	100	4.04	4.04	33.61	-2.509	0.573	0
0.871	0.017	98	3.96	3.96	33.61	-2.509	0.564	1.529
0.87	0.018	97.9	3.956	3.956	33.61	-2.509	0.564	1.529
0.85	0.038	95.505	3.859	3.859	33.61	-2.509	0.553	1.529
0.8	0.088	89.654	3.622	3.622	33.611	-2.508	0.528	1.529
0.75	0.138	83.803	3.386	3.386	33.612	-2.508	0.503	1.529
0.7	0.188	77.952	3.15	3.15	33.612	-2.507	0.478	1.529
0.65	0.238	72.101	2.913	2.913	33.613	-2.507	0.453	1.529
0.6	0.288	66.25	2.677	2.677	33.615	-2.506	0.428	1.529
0.55	0.338	60.399	2.44	2.44	33.616	-2.505	0.403	1.529
0.5	0.388	54.548	2.204	2.204	33.618	-2.504	0.378	1.529



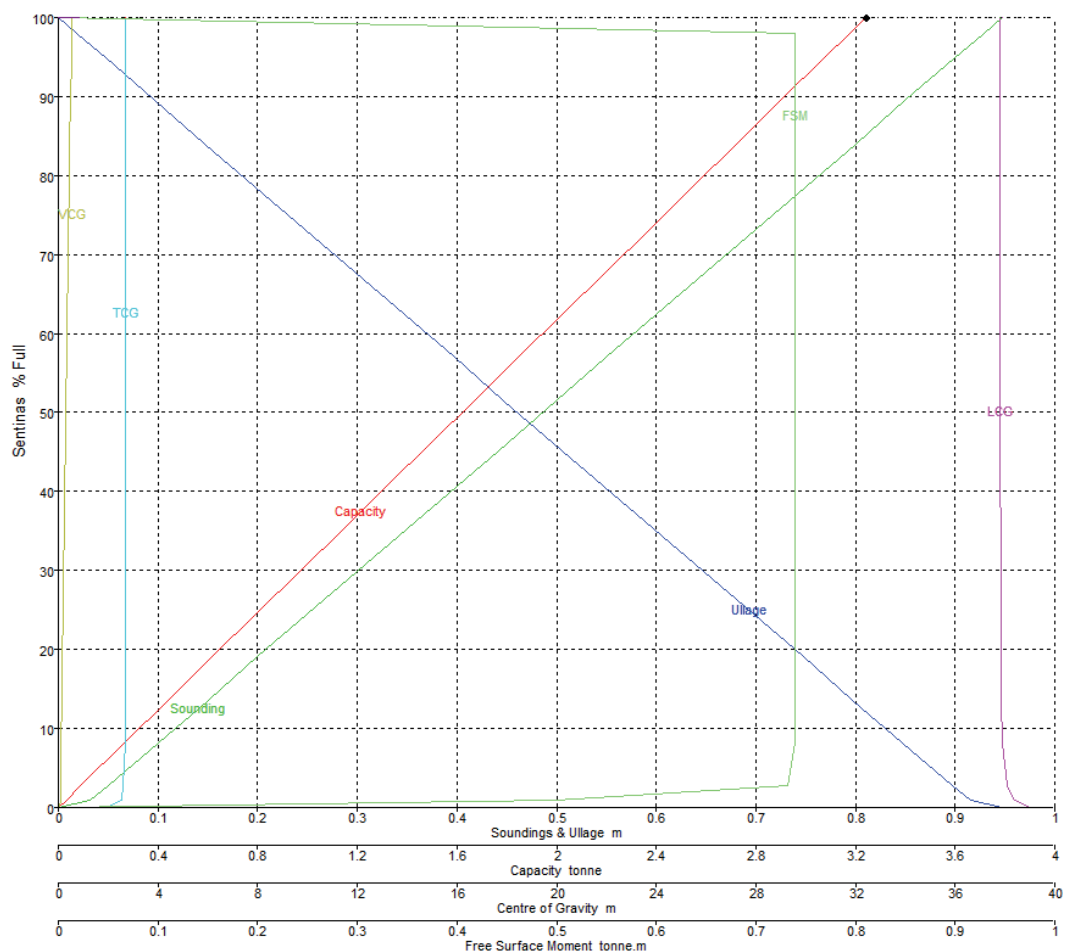
0.45	0.438	48.697	1.968	1.968	33.62	-2.503	0.353	1.529
0.4	0.488	42.846	1.731	1.731	33.623	-2.501	0.328	1.529
0.35	0.538	36.995	1.495	1.495	33.626	-2.499	0.303	1.529
0.3	0.588	31.144	1.258	1.258	33.631	-2.496	0.278	1.529
0.25	0.638	25.293	1.022	1.022	33.638	-2.491	0.253	1.529
0.2	0.688	19.442	0.786	0.786	33.65	-2.484	0.228	1.529
0.15	0.738	13.591	0.549	0.549	33.671	-2.471	0.203	1.529
0.1	0.788	7.74	0.313	0.313	33.725	-2.438	0.177	1.529
0.05	0.838	2.029	0.082	0.082	34.018	-2.268	0.148	1.174
0.038	0.85	1	0.04	0.04	34.202	-2.175	0.14	0.816
0	0.888	0	0	0	34.786	-1.533	0.112	0



Sentinas								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
0.947	0	100	3.522	3.24	37.808	2.703	0.538	0
0.929	0.018	98	3.452	3.175	37.808	2.703	0.529	0.74
0.928	0.019	97.9	3.448	3.172	37.808	2.703	0.529	0.74
0.9	0.047	94.879	3.342	3.074	37.808	2.702	0.515	0.74

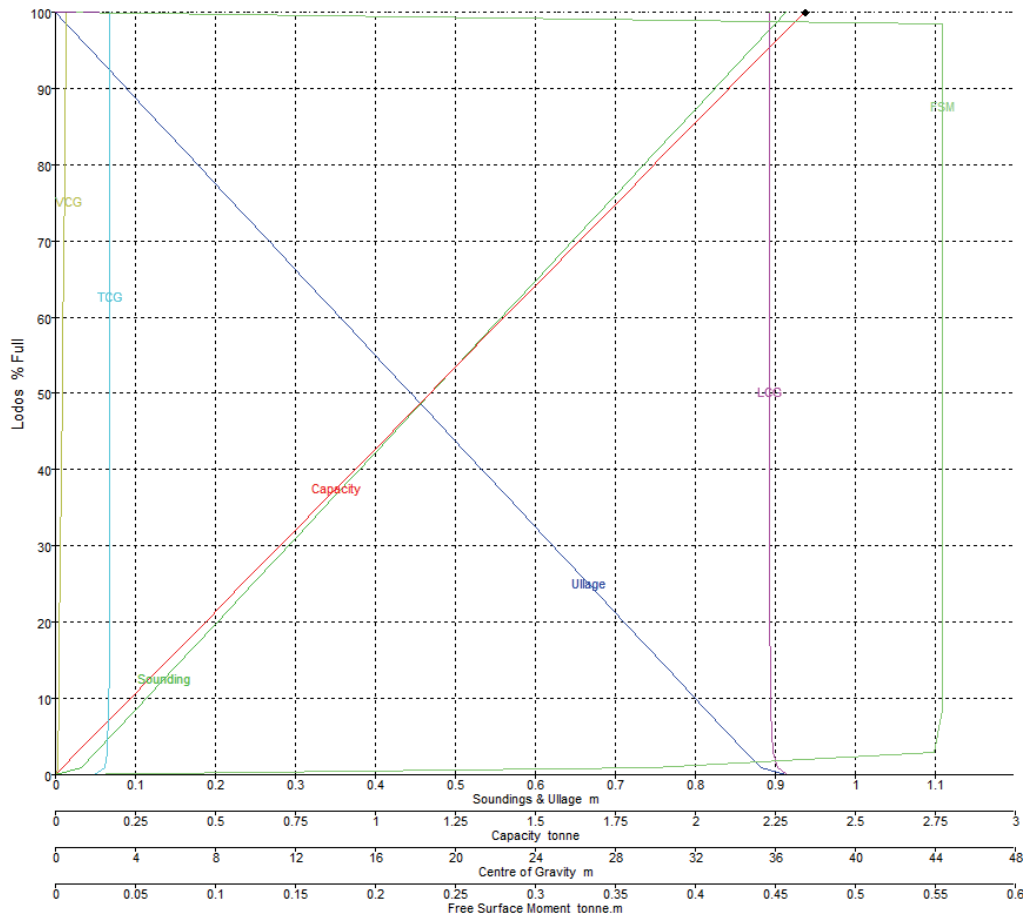


0.85	0.097	89.461	3.151	2.899	37.809	2.702	0.49	0.74
0.8	0.147	84.044	2.96	2.723	37.809	2.702	0.465	0.74
0.75	0.197	78.627	2.769	2.548	37.81	2.702	0.44	0.74
0.7	0.247	73.21	2.578	2.372	37.811	2.702	0.415	0.74
0.65	0.297	67.792	2.388	2.197	37.811	2.701	0.39	0.74
0.6	0.347	62.375	2.197	2.021	37.812	2.701	0.365	0.74
0.55	0.397	56.958	2.006	1.846	37.814	2.701	0.34	0.74
0.5	0.447	51.541	1.815	1.67	37.815	2.7	0.315	0.74
0.45	0.497	46.123	1.624	1.495	37.817	2.7	0.29	0.74
0.4	0.547	40.706	1.434	1.319	37.819	2.699	0.265	0.74
0.35	0.597	35.289	1.243	1.143	37.822	2.698	0.24	0.74
0.3	0.647	29.871	1.052	0.968	37.826	2.697	0.215	0.74
0.25	0.697	24.454	0.861	0.792	37.832	2.695	0.19	0.74
0.2	0.747	19.037	0.67	0.617	37.841	2.692	0.165	0.74
0.15	0.797	13.62	0.48	0.441	37.857	2.687	0.139	0.74
0.1	0.847	8.202	0.289	0.266	37.894	2.675	0.114	0.74
0.05	0.897	2.786	0.098	0.09	38.077	2.618	0.087	0.732
0.031	0.916	1	0.035	0.032	38.378	2.539	0.075	0.5
0	0.947	0	0	0	38.986	1.914	0.053	0





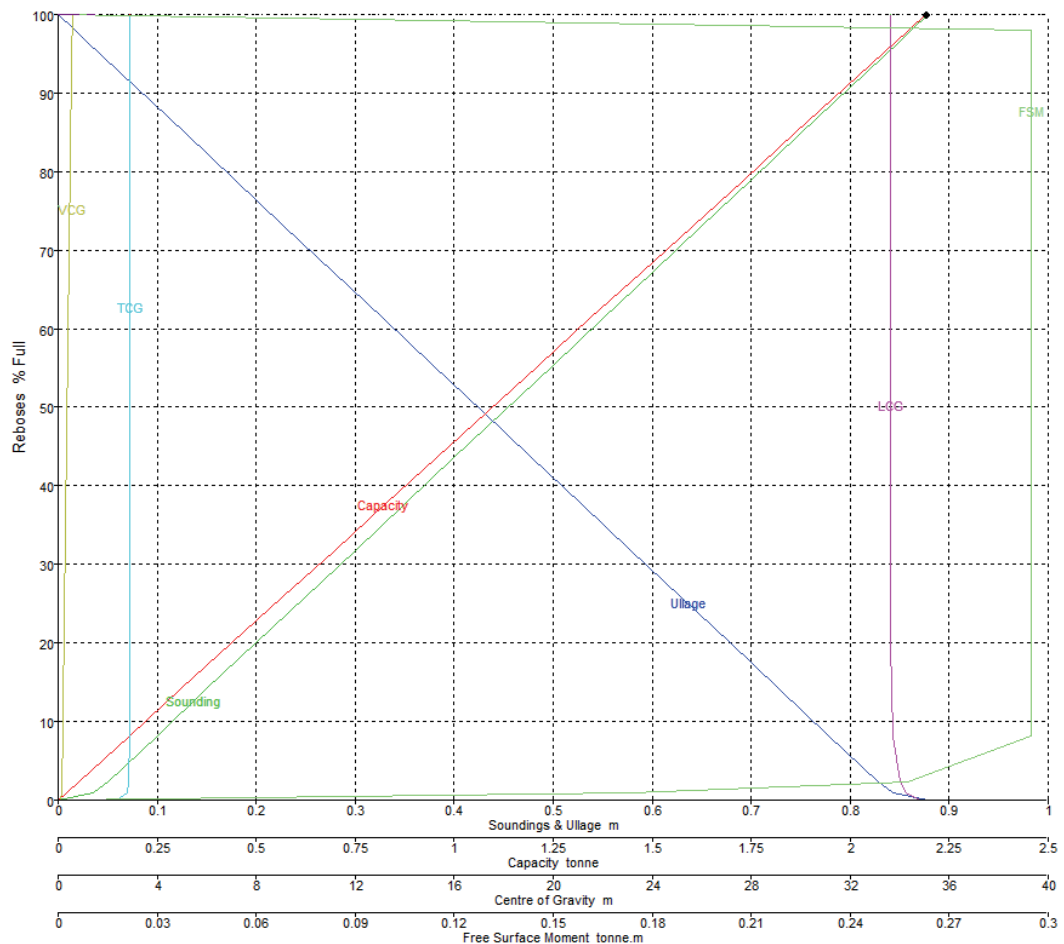
Lodos								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
0.913	0	100	2.544	2.34	35.705	2.702	0.556	0
0.9	0.013	98.485	2.505	2.305	35.705	2.702	0.549	0.555
0.896	0.018	98	2.493	2.294	35.705	2.702	0.547	0.555
0.895	0.019	97.9	2.49	2.291	35.705	2.702	0.546	0.555
0.85	0.063	92.86	2.362	2.173	35.706	2.702	0.524	0.555
0.8	0.113	87.235	2.219	2.042	35.706	2.701	0.499	0.555
0.75	0.163	81.609	2.076	1.91	35.707	2.701	0.474	0.555
0.7	0.213	75.984	1.933	1.778	35.707	2.701	0.449	0.555
0.65	0.263	70.358	1.79	1.647	35.708	2.701	0.424	0.555
0.6	0.313	64.733	1.647	1.515	35.708	2.7	0.399	0.555
0.55	0.363	59.108	1.504	1.383	35.709	2.7	0.374	0.555
0.5	0.413	53.482	1.361	1.252	35.71	2.699	0.349	0.555
0.45	0.463	47.857	1.217	1.12	35.711	2.699	0.324	0.555
0.4	0.513	42.232	1.074	0.988	35.713	2.698	0.299	0.555
0.35	0.563	36.606	0.931	0.857	35.715	2.697	0.274	0.555
0.3	0.613	30.981	0.788	0.725	35.717	2.695	0.249	0.555
0.25	0.663	25.356	0.645	0.593	35.721	2.693	0.224	0.555
0.2	0.713	19.73	0.502	0.462	35.727	2.689	0.199	0.555
0.15	0.763	14.105	0.359	0.33	35.738	2.683	0.173	0.555
0.1	0.813	8.479	0.216	0.198	35.763	2.668	0.148	0.555
0.05	0.863	2.855	0.073	0.067	35.886	2.596	0.121	0.549
0.032	0.882	1	0.025	0.023	36.102	2.487	0.11	0.373
0	0.913	0	0	0	36.59	1.913	0.087	0



Rebores								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
0.878	0	100	2.382	2.191	33.61	2.913	0.576	0
0.861	0.017	98	2.334	2.148	33.61	2.913	0.567	0.295
0.861	0.018	97.9	2.332	2.145	33.61	2.913	0.567	0.295
0.85	0.028	96.646	2.302	2.118	33.61	2.913	0.562	0.295
0.8	0.078	90.752	2.162	1.989	33.611	2.912	0.536	0.295
0.75	0.128	84.857	2.021	1.86	33.612	2.912	0.511	0.295
0.7	0.178	78.963	1.881	1.73	33.613	2.912	0.486	0.295
0.65	0.228	73.069	1.741	1.601	33.614	2.912	0.461	0.295
0.6	0.278	67.175	1.6	1.472	33.615	2.912	0.436	0.295
0.55	0.328	61.281	1.46	1.343	33.617	2.911	0.411	0.295
0.5	0.378	55.387	1.319	1.214	33.618	2.911	0.386	0.295
0.45	0.428	49.493	1.179	1.085	33.62	2.91	0.361	0.295
0.4	0.478	43.599	1.039	0.955	33.623	2.91	0.336	0.295
0.35	0.528	37.705	0.898	0.826	33.627	2.909	0.311	0.295
0.3	0.578	31.811	0.758	0.697	33.632	2.908	0.286	0.295
0.25	0.628	25.917	0.617	0.568	33.639	2.906	0.261	0.295
0.2	0.678	20.023	0.477	0.439	33.651	2.904	0.236	0.295
0.15	0.728	14.129	0.337	0.31	33.672	2.899	0.211	0.295
0.1	0.778	8.235	0.196	0.18	33.723	2.887	0.185	0.295



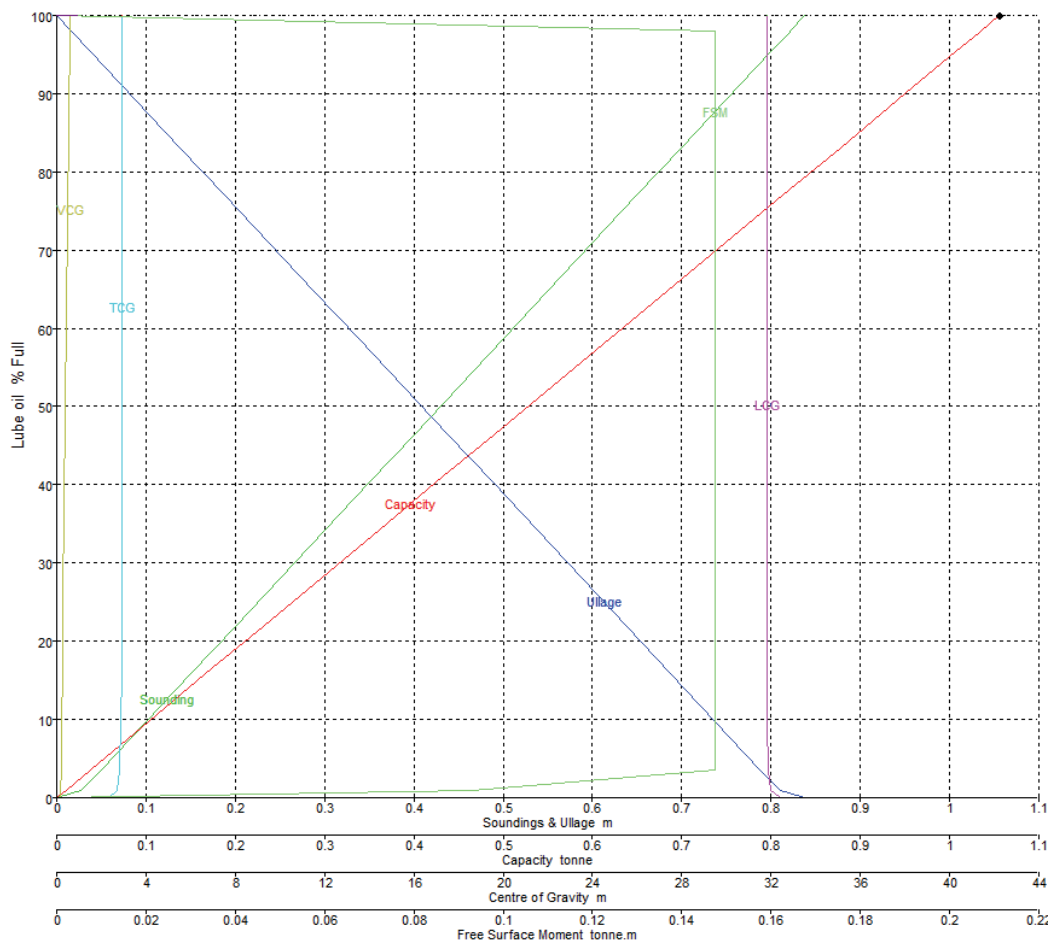
0.05	0.828	2.383	0.057	0.052	34.007	2.827	0.157	0.257
0.035	0.844	1	0.024	0.022	34.262	2.783	0.147	0.173
0	0.878	0	0	0	34.786	2.332	0.122	0



Lube oil								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
0.838	0	100	1.147	1.056	31.802	2.912	0.591	0
0.822	0.016	98	1.125	1.035	31.802	2.912	0.583	0.147
0.821	0.017	97.9	1.123	1.033	31.802	2.912	0.583	0.147
0.8	0.038	95.354	1.094	1.007	31.802	2.912	0.572	0.147
0.75	0.088	89.236	1.024	0.942	31.803	2.912	0.547	0.147
0.7	0.138	83.118	0.954	0.877	31.803	2.912	0.522	0.147
0.65	0.188	77	0.884	0.813	31.803	2.911	0.497	0.147
0.6	0.238	70.882	0.813	0.748	31.803	2.911	0.472	0.147
0.55	0.288	64.764	0.743	0.684	31.804	2.911	0.447	0.147
0.5	0.338	58.647	0.673	0.619	31.804	2.91	0.422	0.147
0.45	0.388	52.529	0.603	0.555	31.805	2.91	0.397	0.147
0.4	0.438	46.411	0.533	0.49	31.805	2.909	0.372	0.147
0.35	0.488	40.293	0.462	0.425	31.806	2.908	0.347	0.147



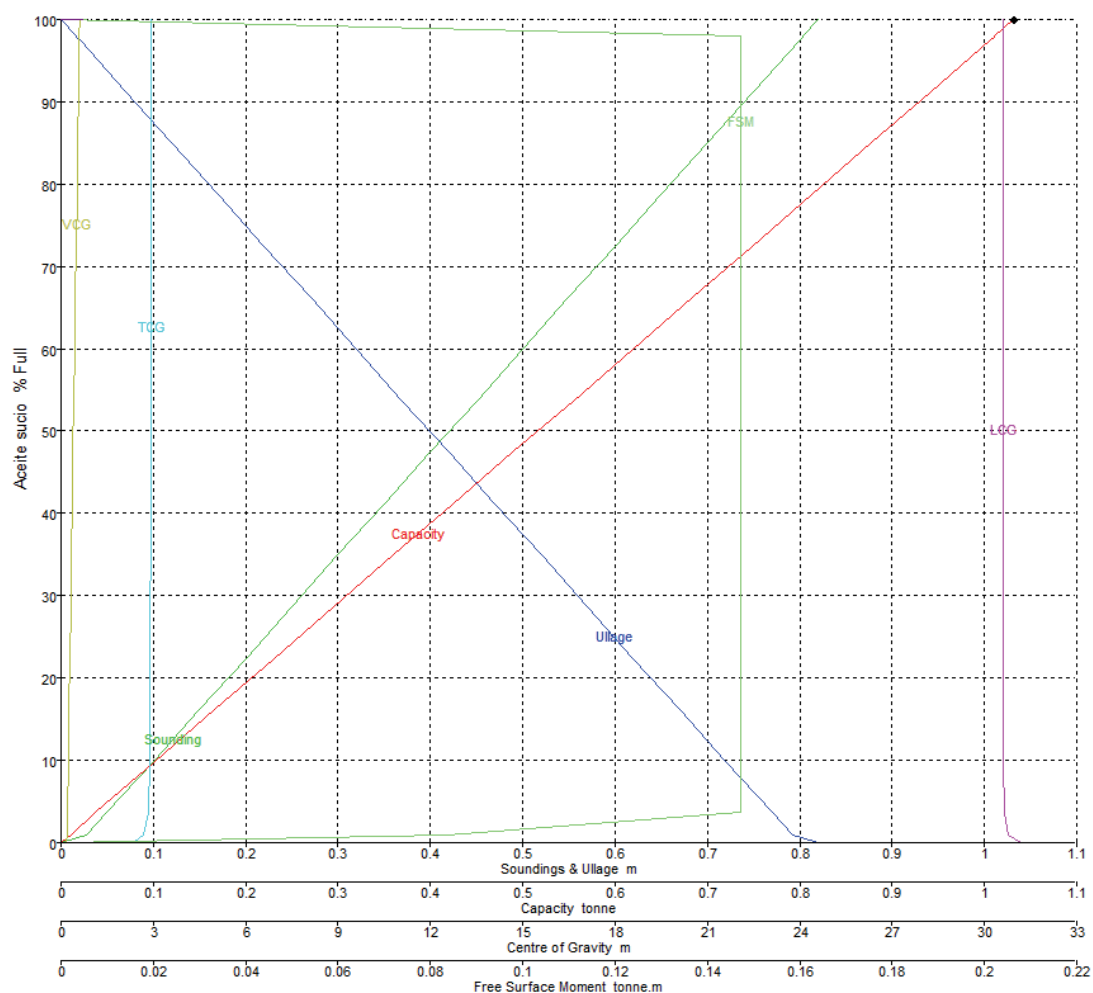
0.3	0.538	34.175	0.392	0.361	31.807	2.907	0.322	0.147
0.25	0.588	28.057	0.322	0.296	31.808	2.905	0.297	0.147
0.2	0.638	21.939	0.252	0.232	31.811	2.902	0.272	0.147
0.15	0.688	15.821	0.182	0.167	31.815	2.897	0.247	0.147
0.1	0.738	9.703	0.111	0.102	31.824	2.886	0.222	0.147
0.05	0.788	3.585	0.041	0.038	31.866	2.836	0.196	0.147
0.028	0.81	1	0.011	0.011	31.984	2.692	0.182	0.093
0	0.838	0	0	0	32.393	2.332	0.162	0



Aceite sucio								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
0.82	0	100	1.122	1.032	30.602	2.912	0.6	0
0.804	0.016	98	1.099	1.011	30.602	2.912	0.592	0.147
0.803	0.017	97.9	1.098	1.01	30.602	2.912	0.592	0.147
0.8	0.02	97.504	1.094	1.006	30.602	2.912	0.591	0.147
0.75	0.07	91.245	1.024	0.942	30.602	2.911	0.566	0.147
0.7	0.12	84.987	0.953	0.877	30.603	2.911	0.54	0.147
0.65	0.17	78.729	0.883	0.812	30.603	2.911	0.515	0.147
0.6	0.22	72.471	0.813	0.748	30.603	2.911	0.49	0.147

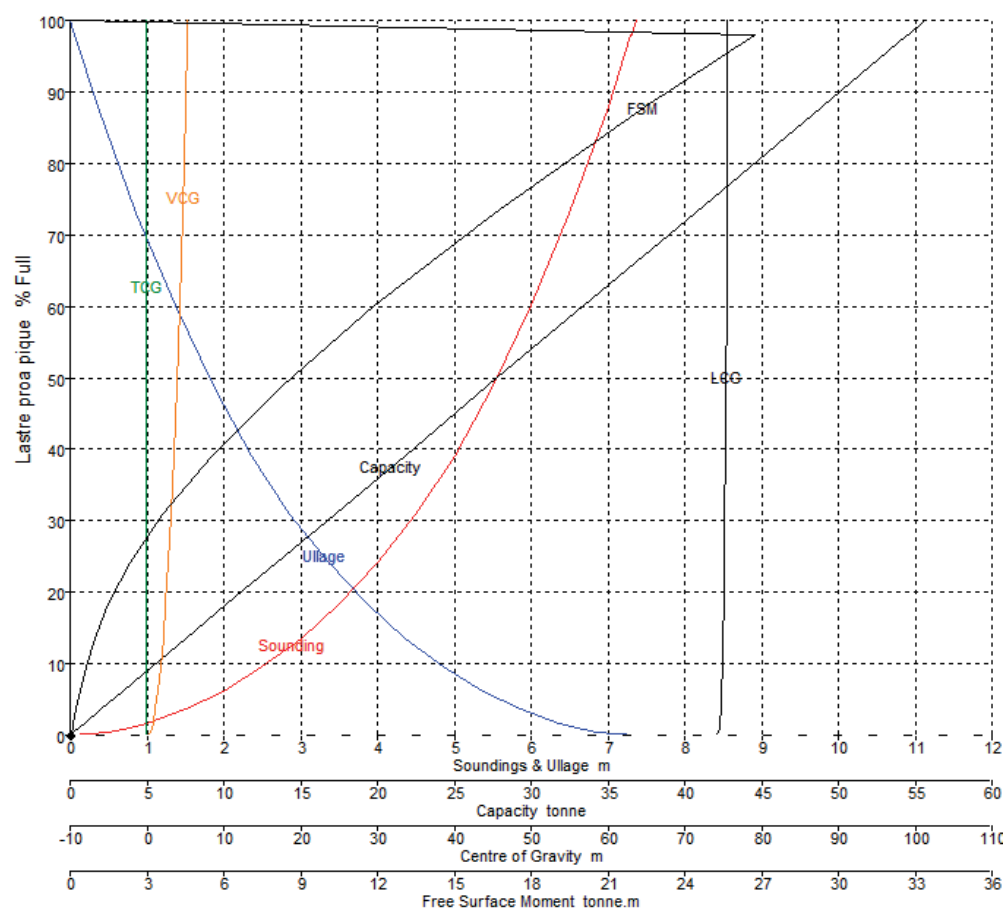


0.55	0.27	66.212	0.743	0.683	30.603	2.91	0.465	0.147
0.5	0.32	59.954	0.673	0.619	30.604	2.91	0.44	0.147
0.45	0.37	53.696	0.602	0.554	30.604	2.909	0.415	0.147
0.4	0.42	47.437	0.532	0.49	30.605	2.908	0.39	0.147
0.35	0.47	41.179	0.462	0.425	30.605	2.907	0.365	0.147
0.3	0.52	34.921	0.392	0.36	30.606	2.906	0.34	0.147
0.25	0.57	28.662	0.322	0.296	30.608	2.904	0.315	0.147
0.2	0.62	22.404	0.251	0.231	30.61	2.901	0.29	0.147
0.15	0.67	16.146	0.181	0.167	30.614	2.895	0.265	0.147
0.1	0.72	9.887	0.111	0.102	30.622	2.882	0.24	0.147
0.05	0.77	3.629	0.041	0.037	30.661	2.826	0.214	0.147
0.028	0.792	1	0.011	0.01	30.763	2.664	0.2	0.083
0	0.82	0	0	0	31.193	2.332	0.18	0





Lastre proa								
Sonda	Espacio vacío	% llenado	Capacidad m3	Capacidad t	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FSM
7.365	0	100	54.281	55.638	75.598	0	5.297	0
7.307	0.058	98	53.195	54.525	75.59	0	5.253	26.766
7.304	0.061	97.9	53.141	54.469	75.59	0	5.251	26.723
7	0.365	87.904	47.715	48.908	75.553	0	5.019	22.478
6.5	0.865	73.029	39.641	40.632	75.491	0	4.638	16.594
6	1.365	60.044	32.592	33.407	75.431	0	4.258	11.908
5.5	1.865	48.818	26.499	27.161	75.371	0	3.883	8.265
5	2.365	39.141	21.246	21.777	75.304	0	3.51	5.546
4.5	2.865	30.949	16.799	17.219	75.234	0	3.144	3.622
4	3.365	24.134	13.1	13.428	75.17	0	2.791	2.338
3.5	3.865	18.334	9.952	10.201	75.09	0	2.443	1.509
3	4.365	13.505	7.331	7.514	75.003	0	2.103	0.975
2.5	4.865	9.545	5.181	5.31	74.92	0	1.776	0.63
2	5.365	6.232	3.383	3.467	74.802	0	1.447	0.405
1.5	5.865	3.656	1.984	2.034	74.698	0	1.132	0.256
1	6.365	1.649	0.895	0.918	74.533	0	0.805	0.138
0.773	6.592	1	0.543	0.556	74.479	0	0.662	0.092
0.5	6.865	0.393	0.213	0.219	74.357	0	0.481	0.039
0	7.365	0	0	0	73.945	0	0.135	0





PROYECTO Nº 252

BUQUE OCEANOGRÁFICO

DE 7.000 T

Cuaderno 6

Cálculo de potencia y proyecto de

propulsores

TUTOR: ELOY J. CARRILLO HONTORIA

ALUMNO: ALEJANDRO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA PROPULSORA.....	6
3.	TIPO DE PROPULSIÓN	9
3.1.	GENERALIDADES	9
3.2.	PROPULSIÓN PRINCIPAL.....	9
3.3.	PROPULSIÓN SECUNDARIA	10
4.	PROPULSORES PRINCIPALES	13
4.1.	OPTIMIZACIÓN DEL PROPULSOR	13
4.1.1.	INMERSIÓN DEL EJE	15
4.1.2.	REVOLUCIONES ÓPTIMAS	17
4.1.3.	DIÁMETRO ÓPTIMO.....	21
4.1.4.	RELACIÓN ÁREA-DISCO ÓPTIMA	25
4.2.	CRITERIO DE CAVITACIÓN	32
4.2.1.	CRITERIO DE KELLER.....	32
4.2.2.	CRITERIO DE BURRILL	33
4.3.	OPTIMIZACIÓN DEL PROPULSOR II	36
4.3.1.	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS.....	36
4.3.2.	CAVITACIÓN	38
4.4.	POTENCIA ENTREGADA	39
4.5.	DATOS DEL PROPULSOR	40
5.	PROPULSOR SECUNDARIO	41
5.1.	POTENCIA DEL PROPULSOR SECUNDARIO.....	42
5.2.	DATOS DEL PROPULSOR	44
6.	PROPULSORES TRANSVERSALES DE PROA	46
7.	CONCLUSIONES.....	49
8.	BIBLIOGRAFÍA	50



INDICE DE FIGURAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Figura 1: Gráfica: Resistencia - velocidad.....	8
	Figura 2: Gráfica: Potencia - velocidad.....	8
	Figura 3: Imagen lateral propulsor azimutal (con conducto).....	16
	Figura 4: Imagen tridimensional propulsores principales.....	16
	Figura 5: Diagrama Bp-delta B series 4.70	18
	Figura 6: Gráfica de rendimiento en función de RPM, primera aproximación	19
	Figura 7: Gráfica de rendimiento en función de RPM, segunda aproximación	20
	Figura 8: Gráfica de rendimiento en función de RPM, tercera aproximación	20
	Figura 9: Diagrama Bp-delta B series 4.40	21
	Figura 10: Representación gráfica área/disco mínima, 4 palas	23
	Figura 11: Representación gráfica área/disco mínima, 5 palas	24
	Figura 12: Representación gráfica diámetro óptimo, 4 palas	24
	Figura 13: Representación gráfica diámetro óptimo, 5 palas	25
	Figura 14: Representación gráfica área/disco mínima, 4 palas, diámetro fijo	26
	Figura 15: Representación gráfica área/disco mínima, 5 palas, diámetro fijo	27
	Figura 16: Representación gráfica paso/diámetro mínima, 4 palas, diámetro fijo	27
	Figura 17: Representación gráfica rendimiento, 4 palas, diámetro fijo.....	28
	Figura 18: Representación gráfica paso/diámetro, 5 palas, diámetro fijo.....	28
	Figura 19: Representación gráfica rendimiento, 5 palas, diámetro fijo.....	29
	Figura 20: Diagrama de Burrill.....	35
	Figura 21: SJP, visión general	41
	Figura 22: Gráfica empuje transversal necesario	46



INDICE DE TABLAS

Capítulo	Descripción	Página
	Tabla 1. Valores recomendados para la aplicación de Holtrop & Mennen	6
	Tabla 2. Datos entrada hullspeed.....	6
	Tabla 3. Datos salida hullspeed	7
	Tabla 4. Características generales del propulsor azimutal US 105	13
	Tabla 5. Resistencia y potencia efectiva a 11 nudos	13
	Tabla 6. Tabla de rendimientos en función de RPM, primera aproximación.....	18
	Tabla 7. Tabla de rendimiento en función de RPM, segunda aproximación	19
	Tabla 8. Tabla de rendimiento en función de RPM, tercera aproximación	20
	Tabla 9. Resultados optimización de diámetro, 4 palas.....	22
	Tabla 10. Resultados optimización de diámetro, 5 palas.....	22
	Tabla 11. Área/disco mínima calculada, para 4 y 5 palas	23
	Tabla 12. Tabla resumen diámetro óptimo según número de palas	25
	Tabla 13. Resultados optimización de área/disco, 4 palas	25
	Tabla 14. Resultados optimización de área/disco, 5 palas	26
	Tabla 15. Área/disco mínima calculada, para 4 y 5 palas, diámetro fijo.....	26
	Tabla 16. Tabla resumen características geométricas propulsor, 4 y 5 palas.....	29
	Tabla 17. Tabla potencias DHP y DHPwag, 1ª iteración.....	30
	Tabla 18. Resultados optimización de área/disco, 4 palas, 1ª iteración.....	30
	Tabla 19. Área/disco mínima calculada, 1ª iteración.....	30
	Tabla 20. Tabla resumen características geométricas propulsor, 4 palas, 1ª iteración.....	30
	Tabla 21. Tabla potencias DHP y DHPwag, 2ª iteración.....	31
	Tabla 22. Resultados optimización de área/disco, 4 palas, 2ª iteración.....	31
	Tabla 23. Área/disco mínima calculada, 2ª iteración.....	31
	Tabla 24. Tabla resumen características geométricas propulsor, 4 palas, 2ª iteración.....	31
	Tabla 25. Resumen características geométricas propulsor, 4 palas área/disco fija (Burrill)	36
	Tabla 26. Tabla potencias DHP y DHPwag, 3ª iteración.....	37
	Tabla 27. Resultados optimización de área/disco, 4 palas, 3ª iteración.....	37
	Tabla 28. Tabla resumen características geométricas propulsor, 4 palas, 3ª iteración.....	37
	Tabla 29. Tabla resumen características geométricas propulsor, 4 palas, valor final	39
	Tabla 30. Tabla resumen datos del propulsor.....	40
	Tabla 31. Resistencia y potencia efectiva a 15 nudos	42
	Tabla 32. Características de SPJ, dadas por el fabricante (Schottel).....	44
	Tabla 33. Características generales SJP elegido	45
	Tabla 34. Características generales hélices transversales de proa	48



1. INTRODUCCIÓN

En el presente cuaderno se va a diseñar el sistema de propulsión y gobierno del buque. Para ello primero se realizará un estudio de resistencia al avance y potencia necesaria de acuerdo a las formas generadas en el cuaderno 3.

De acuerdo a los requisitos de proyecto y los valores obtenidos en el cálculo de resistencia se definirá el tipo de propulsión, que será optimizado para dar el mayor rendimiento evitando efectos negativos como la cavitación.

Se estudiará también en caso de necesidad la instalación de propulsión adicional y sus alternativas, así como los propulsores transversales necesarios para el cumplimiento del sistema de posicionamiento dinámico DP II, requisito de proyecto.

Finalmente se decidirán los motores eléctricos y sus características para los sistemas de propulsión elegidos en el buque.



2. ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA PROPULSORA

Existen diversos métodos para estimar la potencia propulsora, siendo uno de los más extendidos por su fiabilidad, considerada un 95% de exactitud según algunos autores ref. [1] el método de Holtrop y Mennen, y este será el método a emplear, suponiendo que se cumplan las condiciones necesarias para su aplicación, y que son las siguientes:

Parámetro	Límite inf.	Límite sup.	Valor
Cp	0,55	0,85	0,681
L/B	3,8	15	4,41
B/T	2,1	4,0	2,52

Tabla 1. Valores recomendados para la aplicación de Holtrop & Mennen

Luego todos los requisitos de aplicación se cumplen así que se procede a aplicar el método.

Para la aplicación de este método se va a emplear el software de Maxsurf, Hullspeed.

Usaremos las formas que se crearon a lo largo del cuaderno 3, y una vez definidas en el Maxsurf (incluyendo perpendiculares de proa, popa, cuaderna maestra y calado de diseño) se importan en el programa Hullspeed, siendo los valores de entrada los de la tabla siguiente:

Datos de entrada Hullspeed		
LWL	84.75	m
Manga	18.15	m
Calado	7.201	m
Volumen desplazado	6830.491	m ³
Superficie mojada	1969.669	m ²
CP	0.641	-
CWP	0.829	-
1/2 ángulo de entrada	21.99	deg.
LCG desde CM (+ve = proa)	-2.833	m
Área espejo sumergido	2.279	m ²
Manga en la flotación del espejo	8.264	m
Calado de espejo sumergido	0.525	m
Área transversal máxima	125.654	m ²
Área transversal del bulbo	0	m ²
Altura desde la quilla del bulbo	0	m
Calado a proa	7.201	m
"Deadrise" al 50% LWL	0.81	deg.
Hard chine or Round bilge	Round bilge	-

Tabla 2. Datos entrada hullspeed



Seleccionamos el método a emplear (Holtrop y Mennen) así como el tipo de casco (monocasco) para obtener los datos de resistencia y potencia en función de la velocidad del buque, que son los datos recogidos en la siguiente tabla, donde se remarcan las velocidades económica (11 nudos) y máxima (15 nudos), tal y como se especifican en los requisitos de diseño.

Datos salida Hullspeed		
V (nudos)	R (kN)	P (kW)
0	--	--
0.5	0.28	0.07
1	1.02	0.53
1.5	2.19	1.69
2	3.75	3.86
2.5	5.69	7.32
3	8	12.35
3.5	10.68	19.22
4	13.7	28.18
4.5	17.06	39.49
5	20.75	53.37
5.5	24.77	70.08
6	29.11	89.84
6.5	33.76	112.88
7	38.73	139.46
7.5	44.02	169.85
8	49.67	204.4
8.5	55.7	243.57
9	62.2	288
9.5	69.27	338.55
10	77.06	396.42
10.5	85.76	463.22
11	95.6	541.01
11.5	107.05	633.3
12	120.57	744.29
12.5	136.46	877.48
13	154.94	1036.19
13.5	175.99	1222.23
14	200.17	1441.66
14.5	229.29	1710.36
15	265.84	2051.43

Tabla 3. Datos salida hullspeed



Representando gráficamente estos valores podemos obtener las curvas de resistencia y potencia del buque en función de su velocidad.

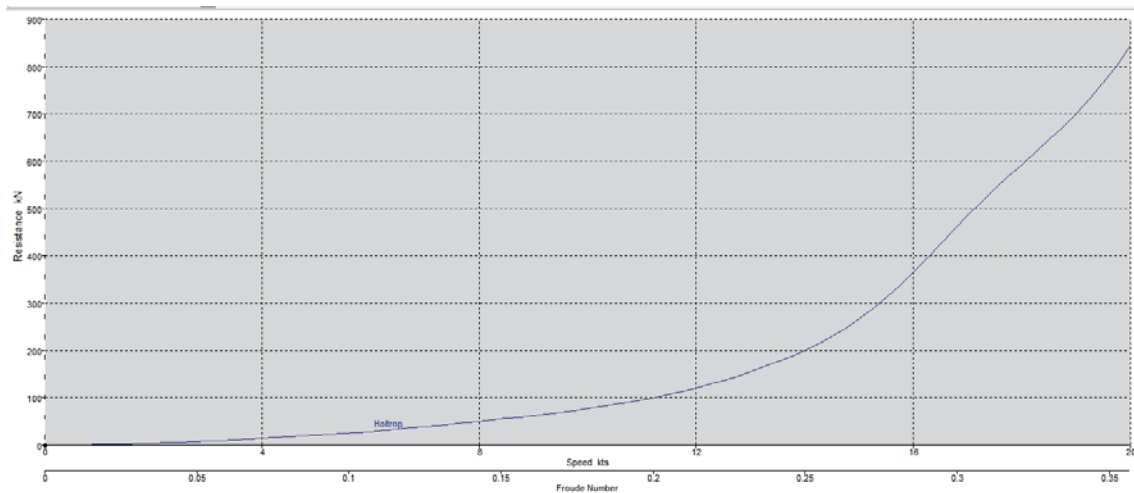


Figura 1: Gráfica: Resistencia - velocidad

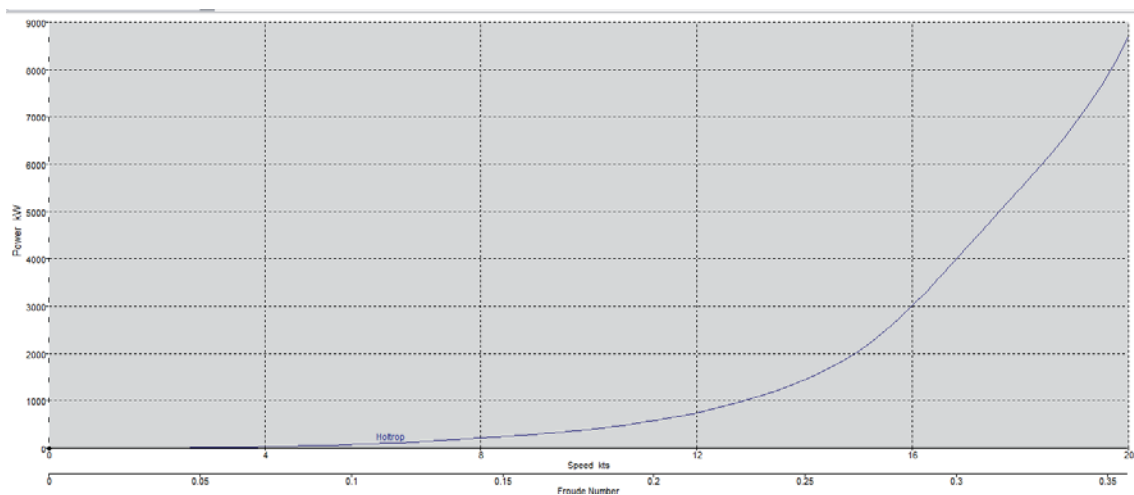


Figura 2: Gráfica: Potencia - velocidad



3. TIPO DE PROPULSIÓN

3.1. GENERALIDADES

De acuerdo a los requisitos de diseño del proyecto, la propulsión será diésel-eléctrica, es decir, unos grupos generadores diésel producirán la energía necesaria para alimentar los propulsores eléctricos que impulsen el buque.

Una gran ventaja de la propulsión diésel-eléctrica es la independencia de la posición de la cámara de máquinas, ya que al no estar directamente acoplado el motor diésel a la hélice propulsora no hay que incorporar ejes.

Por otra parte los motores eléctricos pueden regular su velocidad de rotación sin necesidad de cajas reductoras.

Como se observa en la estimación realizada por el método de Holtrop & Menen en el apartado anterior, la potencia necesaria a 11 nudos (velocidad de servicio) y a 15 nudos (velocidad máxima), es notablemente diferente, lo que conlleva una propulsión secundaria o auxiliar para poder alcanzar la velocidad máxima.

3.2. PROPULSIÓN PRINCIPAL

Durante la realización de los cálculos necesarios para el presente cuaderno se han estudiado diferentes posibilidades:

- Dos líneas de ejes: La alternativa más clásica, consiste en dos líneas de ejes accionadas por motores eléctricos internos en el buque, y un timón por línea para asegurar la suficiente maniobrabilidad del mismo.
- Azipods: Una opción muy interesante, debido no solo a su versatilidad y maniobrabilidad sin necesidad de timón, también a que al incorporar el motor propulsor en su diseño se dispondría de más espacio en el interior del buque.
- Propulsores azimutales: Esta opción también ofrece una gran maniobrabilidad sin la necesidad de instalar timones, debido a su capacidad de rotación 360º, la diferencia con los azipods es que en este caso el movimiento se le proporcionará por motores eléctricos situados en el interior del buque.



La alternativa más interesante, si bien eran los azipods, fueron descartados debido a sus elevadas potencias, ya que en el caso de los modelos comercializados más pequeños hasta la fecha funcionaban a 1.000 kW cada uno, siendo necesario en el caso de este proyecto, para la velocidad económica menos de 500 kW.

La elección entre dos líneas de ejes y dos propulsores azimutales se realizó de acuerdo a la capacidad de maniobra del buque, dado que un buque oceanográfico debe diseñarse para ser capaz de trabajar en diferentes condiciones, manteniendo en ellas la posición durante las diferentes operaciones y tareas a desarrollar, cabe destacar que por especificaciones de proyecto nuestro buque dispondrá de sistema de posicionamiento dinámico DP II.

Por todo lo anterior se ha optado por la opción de propulsores azimutales, con hélices de pala fija, ya que gracias a los motores eléctricos, podemos regular la velocidad de giro directamente en tiempo real, siendo innecesaria la instalación de hélices de paso controlable, que tienen un peor rendimiento.

3.3. PROPULSIÓN SECUNDARIA

Se ha decidido el sistema de propulsión principal del buque, sin embargo los propulsores azimutales tienen una velocidad máxima limitada, que de ninguna manera nos van a permitir funcionar a 15 nudos, ya que estarán optimizados para la velocidad de servicio.

Debe agregarse por tanto un sistema propulsor secundario capaz de suministrar la suficiente potencia propulsora para alcanzar los 15 nudos.

Dependiendo del rendimiento de los propulsores azimutales será la potencia requerida para la propulsión secundaria, sin embargo puede afirmarse de acuerdo a lo obtenido en la predicción de potencia para 15 nudos, y descontando el aporte de los azimutales, que deberá ser capaz de suministrar al menos 2.500 kW, suponiendo un rendimiento en aguas libres de 0,6, aunque estos valores se irán definiendo a lo largo del presente cuaderno.

Para poder suministrar esta potencia extra se han estudiado tres nuevamente tres posibilidades diferentes:

- Dos líneas de ejes con dos motores cada una: Se trata de volver a la idea inicialmente descartada de dos líneas de ejes, pero en este caso incorporando por cada línea de ejes dos motores eléctricos, de tal manera que durante la navegación económica estuviese en funcionamiento solo uno por línea de ejes, y cuando se necesitase navegar a velocidad máxima se activaría el otro motor por línea proporcionando la potencia requerida.



- Línea de ejes simple adicional con palas de paso controlable: Esta alternativa consiste en la instalación de una línea de ejes adicional en crujía que durante la navegación normal fuese desconectada y con las palas en la posición que generasen la menor resistencia al avance posible. Durante la navegación a velocidad máxima las palas se situarían en la posición ideal y se activaría un motor eléctrico para accionar la hélice.
- Propulsor azimutal retráctil: Manteniendo los propulsores azimutales principales, se estudiaba la posibilidad de añadir un propulsor azimutal retráctil en la zona inferior de la popa del buque, de tal manera que en caso de necesidad se desplegara ofreciendo toda su potencia propulsora.
- Pump-Jet: La instalación de un pump-jet (o water-jet) adicional se haría manteniendo como propulsión principal los azimutales retráctiles, y dentro de esta posibilidad se han estudiado dos modelos de pump-jet diferentes:
 - Pump-Jet convencional: Este tipo de propulsor se sitúa cerca de la superficie del agua, e incluso en algunos casos emergiendo una parte sobre esta, en la popa del buque.
 - Pump-Jet SPJ: Un modelo de wáter-jet que no sobresale del casco, y se sitúa enteramente bajo el agua.

La doble línea de ejes se descartó por los mismos motivos que se han explicado en el punto anterior, siendo el mayor motivo la reducida maniobrabilidad que ofrecen frente a los azimutales.

La siguiente idea en descartarse fue la línea de ejes adicional en crujía, si bien esta permite que el buque funcione con azimutales en condiciones normales, aún con las palas de paso variable en la situación más favorable, durante la navegación normal genera una resistencia al avance adicional debido a su presencia. Además para mejorar la maniobrabilidad del buque se ha instalado un quillote a popa que de instalar esta situación habría que reducir, modificar e incluso quitar. Por todo lo expuesto se descarta esta alternativa.

Estudiando los pump-jet se descarta el modelo convencional, dado que de situarse en popa podría dificultar e incluso imposibilitar las labores de izado de la red de pesca durante este tipo de operaciones. No así sin embargo el modelo pump-jet SPJ, ya que este, del fabricante Schottel, no sobresale del casco, se instala enteramente en la obra viva del buque y ofrece buenas características de ruido y vibraciones para una amplia gama de potencias.

El propulsor azimutal retráctil, al igual que los SPJ, pueden colocarse en cualquier parte de la obra viva del buque, conque sus características de diseño y emplazamiento en el buque serían similares, por lo que para tomar una decisión preliminar se estudian sus características generales.



Durante la navegación a velocidad económica, tanto el propulsor retráctil como el SPJ no afectan a la resistencia de avance por no sobresalir ninguno del casco, sin embargo cuando se requiere la potencia necesaria para la velocidad máxima, si bien el SPJ se activa sin necesidad de cambiar este hecho, el propulsor retráctil se separa del buque una distancia suficiente para que le llegue el flujo de agua a la hélice, aumentando de esta manera en cierta medida la resistencia al avance del mismo.

Otra ventaja evidente del SPJ frente al propulsor azimutal retráctil es en general su mayor rendimiento, lo que permite la instalación de un motor algo menor.

Como punto adicional cabe destacar que si bien la capacidad de maniobra de ambos sistemas es excelente, la del SPJ es algo mayor, y aunque no es una característica en principio necesaria debido al sistema propulsor principal, es ventajoso disponer de maniobrabilidad adicional.

Finalmente cabe destacar que el diseño encapsulado del SPJ minimiza los ruidos y vibraciones en el buque.

Resulta claro por tanto elegir el pump-jet SPJ como sistema de propulsión secundario para el buque.



4. PROPULSORES PRINCIPALES

Como se ha justificado anteriormente se van a instalar dos propulsores azimutales en popa, con palas de paso fijo y libres, es decir sin conducto, ya que eso está más orientado para buques que requieren una gran potencia o tiro a punto fijo, para bajas velocidades como puedan ser remolcadores.

De entre los diferentes fabricantes posibles se han elegido los propulsores azimutales desarrollados por Rolls Royce y Ulstein, modelo *US 105 Open propeller* que admite una potencia máxima de 700 kW, cuyas características se muestran en la tabla siguiente:

US 105	Ducted FP propeller			Open propeller		CRP	
Propeller diameter (mm)	1 300	1 500	1 600	Max. 1 400	Max. 1 800	Max. 1 500	Max. 1 700
L, nominal stem length (mm)	1 850	2 400	2 400	1 850	2 400	1 750	2 300
Weight, dry (kg)*	4 700	5 900	5 990	4 000	5 150	3 300	5 800
Nominal input speed	1 500-1 800 rpm	750-2 000 rpm	1 500-1 800 rpm	750-2 000 rpm	1 500-1 800 rpm	1 000-1 800 rpm	
Nominal input power **	Max. 500 kW	Max. 700 kW	Max. 500 kW	Max. 700 kW	Max. 440 kW	Max. 660 kW	
Bollard pull range	Up to 23 metric tons per two (2) units						

Tabla 4. Características generales del propulsor azimutal US 105

Si bien el fabricante vende el conjunto completo incluyendo una hélice propulsora estándar para el modelo, debido a la importancia de una buena optimización, sobre todo en lo referente a cavitación, ya que un buque oceanográfico como el presente debe tener especialmente presente lo negativo de este efecto, no solo para el mantenimiento de la hélice y los ruidos a bordo, si no también de como altera el medio durante las labores oceanográficas.

Por lo anterior se va a diseñar y optimizar, para la velocidad de trabajo, que son 11 nudos las hélices de los propulsores azimutales de popa.

4.1. OPTIMIZACIÓN DEL PROPULSOR

Esta propulsión principal, como ya se ha indicado en varias ocasiones a lo largo de este cuaderno se va a diseñar con el propósito de ofrecer el rendimiento óptimo para la velocidad de servicio estipulada en los requisitos de diseño del proyecto, es decir, 11 nudos.

Recordando lo obtenido en la estimación de la potencia para 11 nudos de acuerdo al método de Holtrop & Menen:

Holtrop & Menen		
V (knts)	R (kN)	EHP (kW)
11	95.60	541.01

Tabla 5. Resistencia y potencia efectiva a 11 nudos



Esta potencia obtenida es la efectiva (EHP), con que se va a proceder a estimar la potencia que cada hélice propulsora debe entregar (DHP) para vencer la resistencia al avance a la velocidad de servicio, y a partir de esta potencia entregada se podrá calcular más adelante la potencia que el motor debe suministrar, o potencia de freno (BHP).

Lo primero que se va a hallar son los coeficientes de estela y de succión, de acuerdo a la formulación de Taylor, en ambos casos para dos ejes, que no es una solución exacta, ya que en este caso se dispone de dos propulsores azimutales cuyas formas alteran el flujo de agua más que si de una línea de ejes se tratase, pero si ofrece una solución bastante aproximada:

El coeficiente de estela w se relaciona con el coeficiente de bloque de la siguiente forma:

$$w = 0,55 \cdot C_B - 0,2 = 0,55 \cdot 0,655 - 0,2 = 0,16$$

Mientras que el coeficiente de succión depende del coeficiente de estela:

$$t = 0,7 \cdot w + 0,06 = 0,7 \cdot 0,16 + 0,06 = 0,172$$

Se puede calcular ahora la velocidad de avance V_a , que será la velocidad del fluido en el propulsor, algo menor que la velocidad real del buque, debido a la perturbación en las líneas de corriente del fluido ocasionadas por las formas del buque.

$$V_a = V \cdot (1 - w) = 11 \cdot (1 - 0,16) = 9,24 \text{ nudos}$$

El empuje necesario que deberán suministrar las hélices puede estimarse en función del coeficiente de succión como sigue:

$$T = \frac{R}{1 - t} = \frac{95,6}{1 - 0,172} = 115,48 \text{ kN}$$

Lo que significa que cada uno de los dos propulsores en primera instancia deberá suministrar:



$$T_{prop} = \frac{T}{2} = \frac{115,48}{2} = 55,74 \text{ kN}$$

Sin embargo este valor es una estimación inicial, a la que el propulsor diseñado deberá acercarse tanto como sea posible, aunque se acepte una variación de menos de un 3% en el resultado final lo ideal será que esta variación sea tan cercana al 0% como sea posible.

Se recalcula la potencia efectiva para el empuje suministrado a esta velocidad de avance, con la simple expresión (velocidad en metros por segundo):

$$EHP = T \cdot V_a = 115,48 \cdot 9,24 \cdot 0,5144 = 548,74 \text{ kW}$$

Valor muy semejante al original, pero ligeramente superior. Dividiendo por dos este valor de potencia efectiva obtenido tendremos la potencia efectiva por propulsor:

$$EHP_{prop} = \frac{EHP}{2} = \frac{548,72}{2} = 274,36 \text{ kW}$$

Se fija un rendimiento inicial $\eta_0 = 0,6$; el cual se irá modificando en sucesivas iteraciones hasta obtener el resultado final.

Con este rendimiento se puede estimar la potencia entregada:

$$DHP = \frac{EHP_{prop}}{\eta_0} = \frac{274,36}{0,6} = 457,28 \text{ kW}$$

4.1.1. INMERSIÓN DEL EJE

Un parámetro importante a definir previo a la dicha optimización es la inmersión del eje de los propulsores principales.

Los propulsores se van a situar a la altura de la perpendicular de popa, y en la mitad de la semi-manga, este se encuentra a 0,65 metros bajo la superficie al calado máximo de diseño

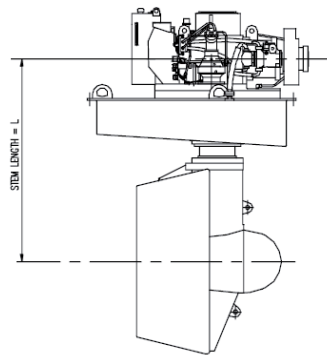


Figura 3: Imagen lateral propulsor azimuthal (con conducto)

La longitud del eje vertical es de 2,4 metros de acuerdo a las especificaciones del fabricante, y a este valor hay que restarle 0,6 metros, que es la distancia entre la superficie del casco y el extremo superior del dicho eje vertical.

La posición de los propulsores principales quedaría como se muestra en la siguiente figura:

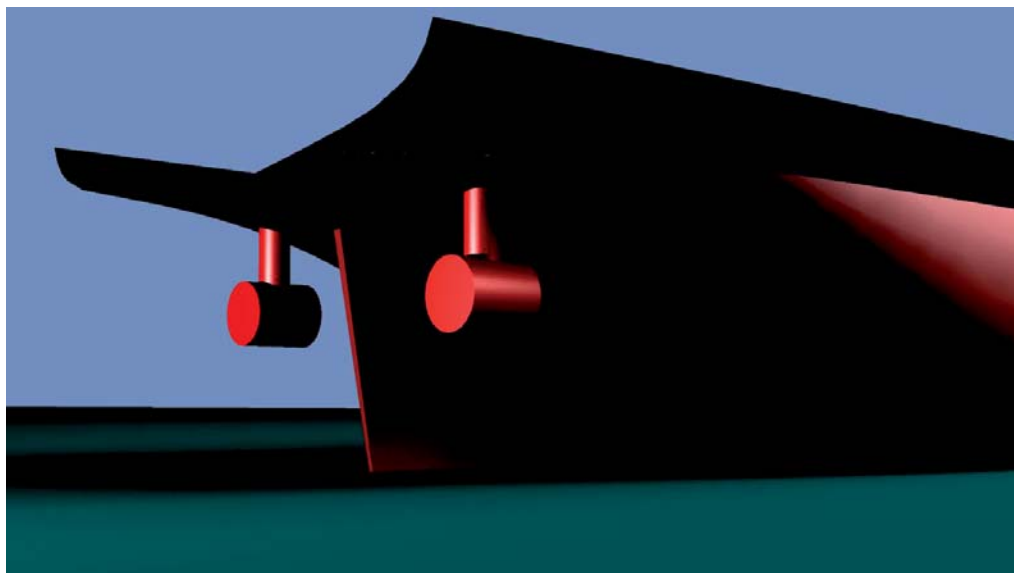


Figura 4: Imagen tridimensional propulsores principales

La inmersión del eje quedaría pues:

$$h = 0,65 + (2,4 - 0,6) + 0,55 = 3 \text{ m}$$



4.1.2. REVOLUCIONES ÓPTIMAS

Antes de calcular las características geométricas del propulsor se van a calcular las revoluciones por minuto (RPM) del mismo a las que da el máximo rendimiento, una vez se conozca este dato podrá empezarse el proceso iterativo de diseño del propulsor.

Para el proceso de optimización se han elegido las series sistemáticas B de Wageningen..

Para leer las tablas proporcionadas para tal fin se necesitan los valores de entrada δ_1 y B_p , que se calculan de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$\delta_1 = 0,98 \cdot \frac{n \cdot D_{max}}{V_a}$$

$$B_p = \frac{n \cdot \sqrt{DHP_{wag}}}{V_a^{2,5}}$$

En el caso de la primera expresión cabe destacar el factor 0,98 que multiplica la expresión, esto se debe a la perturbación ocasionada por la similitud del sistema propulsor a dos líneas de ejes diferentes, si fuese una única línea la perturbación sería mayor y el factor a multiplicar quedaría en 0,96.

Por otra parte es importante destacarlas unidades, siendo n las revoluciones por minuto, D_{max} el diámetro máximo en pies, V_a la velocidad de avance en nudos y DHP_{wag} el resultado de la expresión escrita a continuación, que consiste en la DHP previamente estimada en caballos de vapor y dividida por 1,025 de acuerdo a lo estipulado en los ensayos realizados por el canal de Wageningen, en todos casos referida a la potencia de un único propulsor, ya que siendo los dos simétricos con estudiar uno será suficiente para extrapolarse al otro:

$$DHP_{wag} = \frac{DHP \cdot 1,341}{1,025} = 598,26 CV$$

Teniendo estos valores se obtienen los valores de δ_1 y B_p en función de diferentes velocidades del propulsor en RPM, para observar el pico de máximo rendimiento, de acuerdo a lo observado en buques de similares características, se estima que dichas RPM óptimas se



encontrarán entre 250 y 400 RPM, por ello se prueba este intervalo con saltos de 50 RPM.

Para realizar estos cálculos se ha utilizado la serie B 4.70 de Wageningen, pero se ha comprobado con las series B4.40 y B5.45 para comprobar que en todos los casos el rendimiento máximo se encontraba a las mismas RPM.

El método de entrada en la tabla es como se dibuja en la imagen siguiente, (ejemplo para 300 RPM):

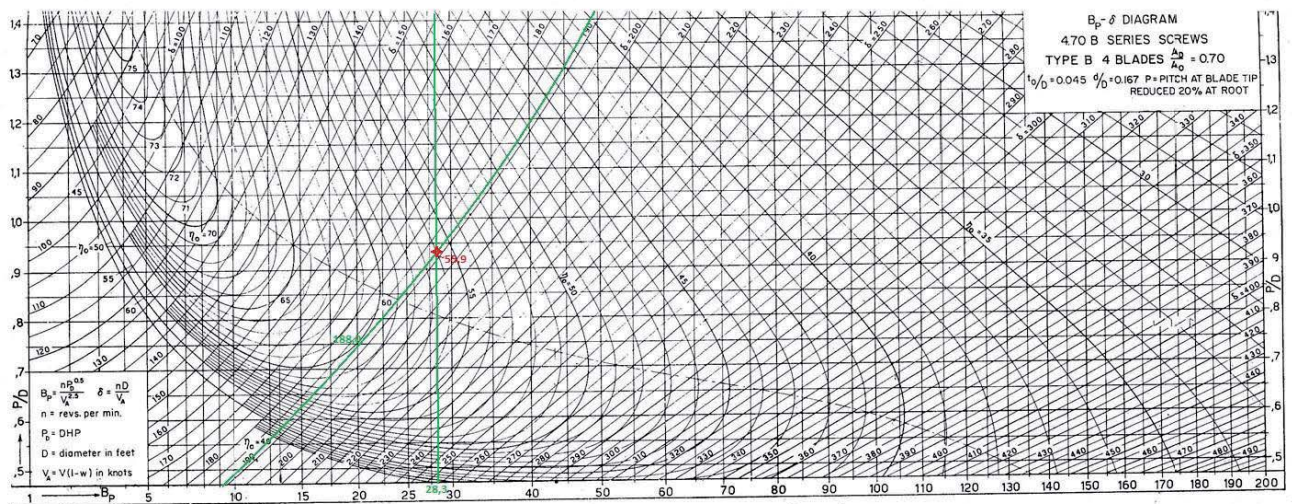


Figura 5: Diagrama Bp-delta B series 4.70

Se repite el procedimiento para todas las RPM que están evaluando hasta elaborar la tabla siguiente, que recoge el resumen de estos datos, mostrados en forma de gráfica a continuación.

4.70			
n	$\delta 1$	Bp	ηo
250	156.63	23.58	0.541
300	188.0	28.3	0.559
350	219.29	33.01	0.545
400	250.61	37.73	0.519

Tabla 6. Tabla de rendimientos en función de RPM, primera aproximación

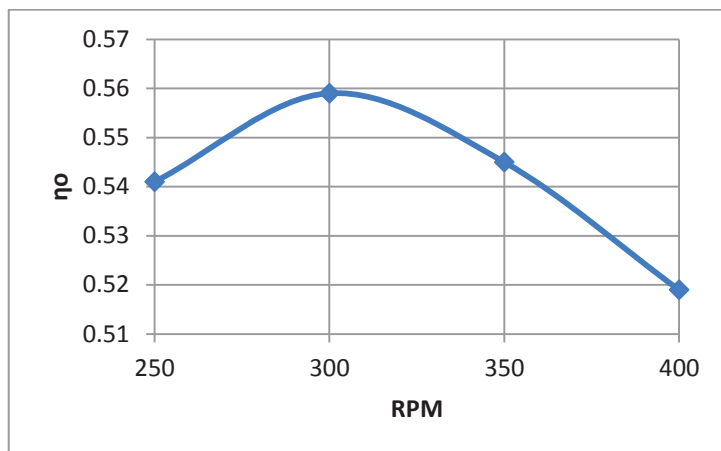


Figura 6: Gráfica de rendimiento en función de RPM, primera aproximación

Tal y como puede observarse en el gráfico el máximo rendimiento será un valor cercano a 300 RPM, y entre 250 y 350 RPM, con que para una mayor exactitud acotamos entre estos valores y definimos los saltos entre ellos como 25 RPM, procediendo de igual manera se obtiene esta nueva serie de datos:

4.70			
n	$\delta 1$	Bp	η_o
250	156.6	23.6	0.541
275	172.3	25.9	0.555
300	188.0	28.3	0.559
325	203.6	30.7	0.557
350	219.3	33.0	0.545

Tabla 7. Tabla de rendimiento en función de RPM, segunda aproximación

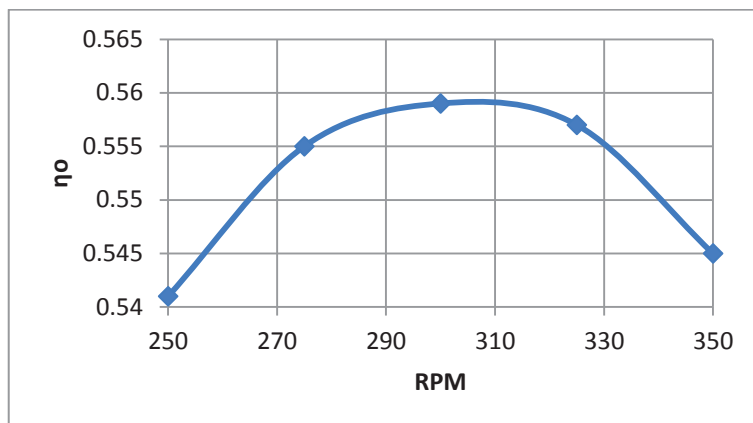


Figura 7: Gráfica de rendimiento en función de RPM, segunda aproximación

A la vista de los resultados parece que las revoluciones óptimas se encontrarán entre las 300 y las 310 RPM, por lo que se decide hacer una última acotación, en saltos de 10 RPM para ver si la diferencia es notable, obteniéndose:

4.70			
n	$\delta 1$	Bp	η_o
280	175.4	26.4	0.558
290	181.7	27.4	0.5585
300	188.0	28.3	0.559
310	194.2	29.2	0.559
320	200.5	30.2	0.558

Tabla 8. Tabla de rendimiento en función de RPM, tercera aproximación

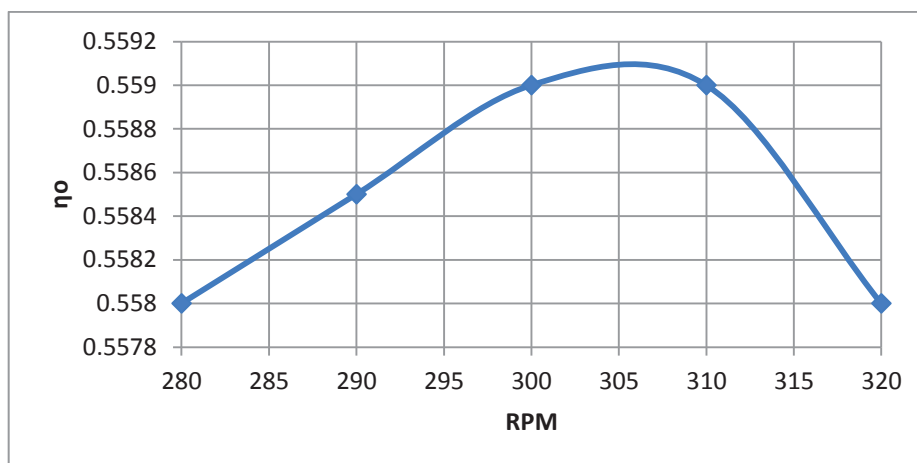


Figura 8: Gráfica de rendimiento en función de RPM, tercera aproximación



De acuerdo a la gráfica podría existir un valor óptimo a aproximadamente 305 RPM, pero la diferencia sería tan mínima que puede despreciarse (alrededor de un 0,01%), con lo que fijaremos las RPM óptimas de nuestro propulsor finalmente en 300 RPM.

4.1.3. DIÁMETRO ÓPTIMO

Una vez fijadas las RPM quedará fijo el valor de B_p puesto para una potencia DHP determinada.

El siguiente paso es encontrar el diámetro óptimo de nuestra hélice, es decir aquel para el que el rendimiento final sea mayor.

Se van a estudiar dos posibilidades diferentes, hélices de 4 palas y hélices de 5 palas, para ello en ambos casos se procederá de igual manera:

Lo primero es seleccionar tres gráficas B_p - δ de Wageningen diferentes para cada tipo de pala, las gráficas escogidas son:

- 4 palas: 4.40; 4.55; 4.70
- 5 palas: 5.45; 5.60; 5.75

Para cada una de estas gráficas se ha usado el valor de $B_p=28,3$ fijo hasta llegar al punto de corte con la línea de máximo rendimiento, obteniendo así el valor de δ_0 , que debido a la interferencia con el casco debe multiplicarse, como ya se ha explicado para buques de dos líneas de ejes por 0,98 resultando así δ_1 .

Allí donde este valor de δ_1 intersekte con el valor de B_p se tendrá el rendimiento y relación paso/diámetro para la relación área/disco correspondiente. La imagen siguiente muestra lo explicado:

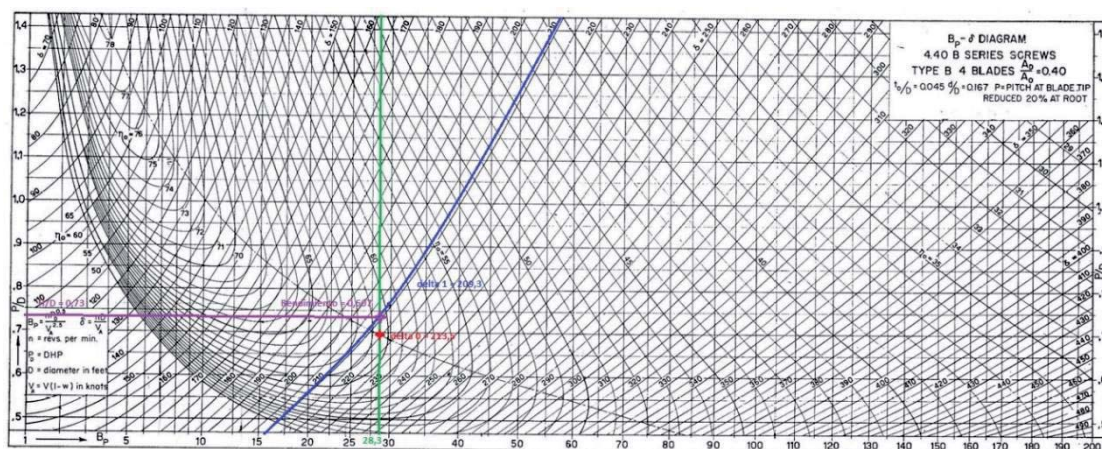


Figura 9: Diagrama B_p - δ B series 4.40



El diámetro óptimo para cada relación área/disco se calcula con la expresión:

$$D_{opt} = \frac{0,3048 \cdot \delta_1 \cdot V_a}{n}$$

$$T = \frac{1.000 \cdot DHP_{prop} \cdot \eta_0}{V_a}$$

El diámetro en metros y el empuje en newtons, por eso se multiplica por 0,3048 (paso de pies a metros) en el caso del diámetro y por 1.000 en el caso del empuje (paso de kN a N)

Los resultados se muestran en las siguientes tablas, para 4 y 5 palas:

Z=4							
Ae/Ao	Bp	δ_0	δ_1	H/D	D (m)	η_0	T(N)
0.40	28.3	213.5	209.23	0.73	1.964	0.607	58415.33
0.55	28.3	210	205.8	0.77	1.931	0.589	56683.08
0.70	28.3	202	197.96	0.84	1.858	0.568	54662.12

Tabla 9. Resultados optimización de diámetro, 4 palas

Z=5							
Ae/Ao	Bp	δ_0	δ_1	H/D	D (m)	η_0	T
0.45	28.3	209	204.82	0.74	1.922	0.582	56009.42
0.60	28.3	206	201.88	0.765	1.895	0.581	55913.19
0.75	28.3	198	194.04	0.84	1.821	0.58	55816.95

Tabla 10. Resultados optimización de diámetro, 5 palas

Sabiendo el empuje y diámetro para cada relación área/disco de las tablas, se procede ahora mediante el criterio de Keller a estimar la relación área/disco mínima necesaria, a fin de incrementar el rendimiento de nuestro propulsor sin riesgo de cavitación, para ello se usará la expresión dada por Keller:

$$\frac{A_E}{A_O} = \frac{(1,3 + 0,3 \cdot Z) \cdot T}{(10100 + 1026 \cdot h) \cdot D^2} + k$$



Siendo Z el número de palas, T el empuje obtenido en kg (para lo que se dividirá el empuje en Newtons por el valor de la gravedad), h la inmersión en metros, D el diámetro obtenido para el propulsor en metros y k un valor determinado, que para buques de dos hélices vale 0,1.

Luego se obtiene lo siguiente:

Z=4		Z=5	
Keller	AE/AO	Keller	AE/AO
0.424	0.4	0.429	0.45
0.394	0.55	0.438	0.6
0.407	0.7	0.465	0.75

Tabla 11. Área/disco mínima calculada, para 4 y 5 palas

La representación gráfica es:

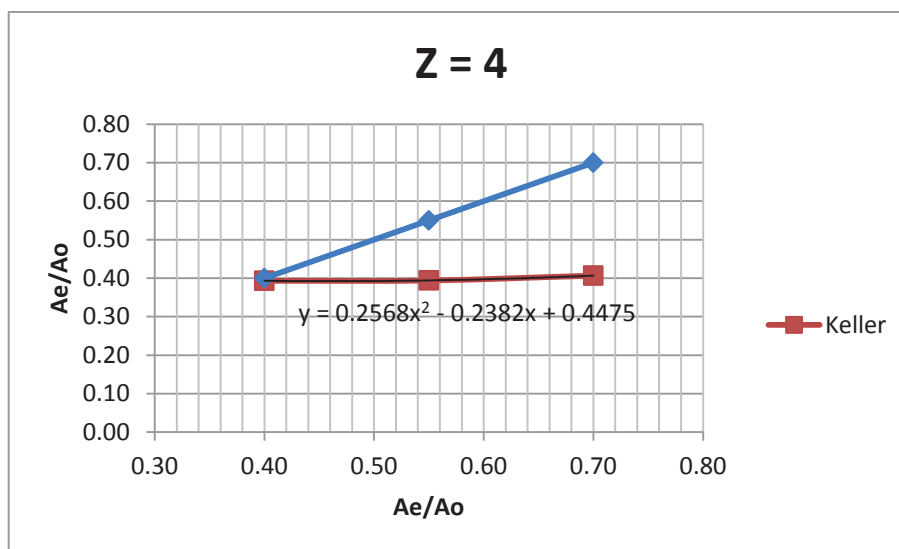


Figura 10: Representación gráfica área/disco mínima, 4 palas

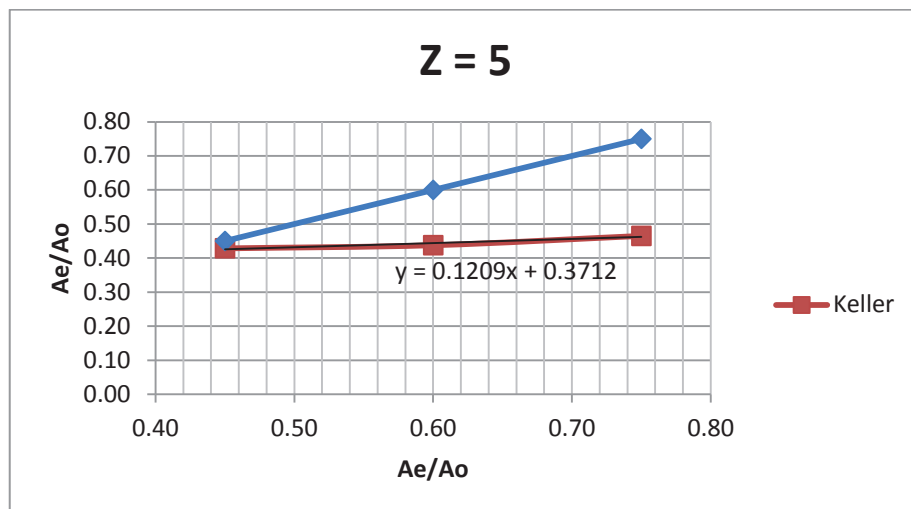


Figura 11: Representación gráfica área/disco mínima, 5 palas

Que allí donde se corten con la bisectriz, es decir $y=x$, representada en azul en la gráfica nos indicará el valor mínimo de la relación área/disco para cada una de las dos versiones estudiadas, cuatro y cinco palas.

Y en función de la relación área/disco se representa el diámetro del propulsor para cada uno de los diagramas obtenidos. Entrando con el valor de dicha relación obtenido en el paso anterior se encontrará el diámetro óptimo del propulsor.

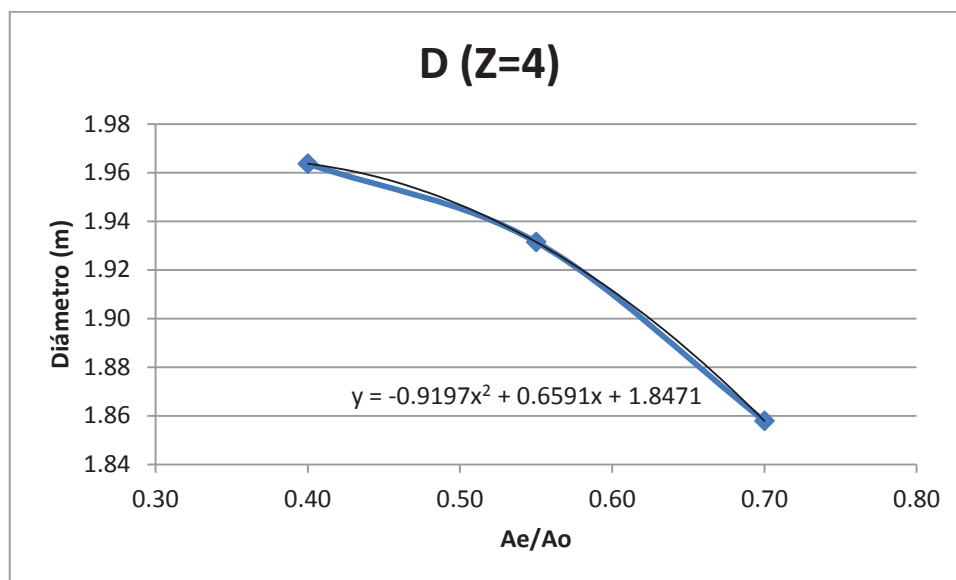


Figura 12: Representación gráfica diámetro óptimo, 4 palas

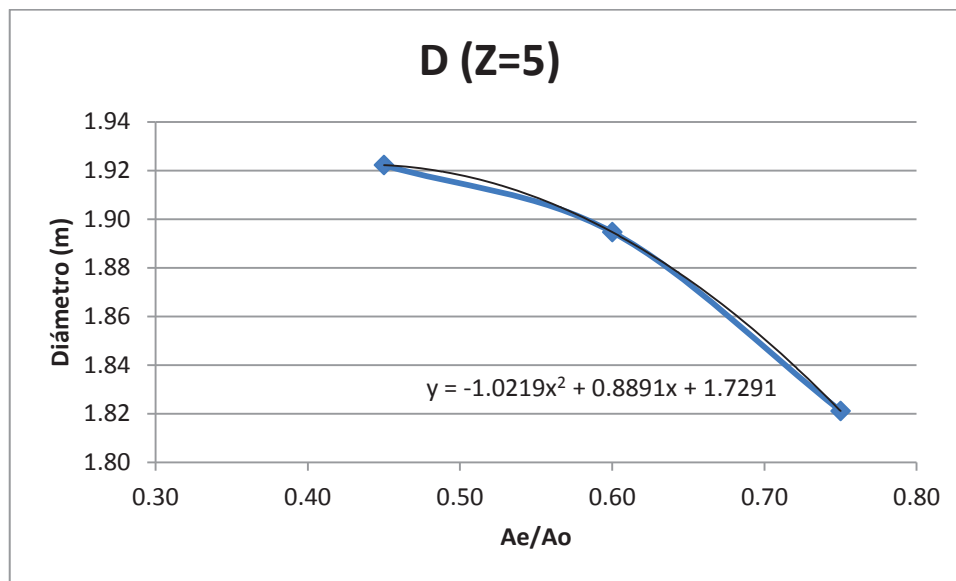


Figura 13: Representación gráfica diámetro óptimo, 5 palas

De acuerdo a estas gráficas, y con el valor calculado correspondiente obtenemos los siguientes diámetros, según número de palas:

	D (m)
Z = 4	1.962
Z = 5	1.922

Tabla 12. Tabla resumen diámetro óptimo según número de palas

En ambos casos el diámetro óptimo obtenido resulta superior al diámetro máximo permitido por el fabricante en sus características, que es 1,8 metros; conque fijaremos el diámetro del propulsor como el diámetro máximo permitido por el fabricante.

4.1.4. RELACIÓN ÁREA-DISCO ÓPTIMA

En este punto ya se han fijado dos valores, las revoluciones a las que gira el propulsor y su diámetro, de esta manera los valores de B_p y δ_1 quedarán fijos, y con ellos van a hallarse los rendimientos y relaciones paso/diámetro de cada relación área/disco, obteniendo los valores para cuatro y cinco palas resumidos en las tablas siguientes:

Z=4						
Ae/Ao	B_p	δ_1	H/D	D	η_o	T(N)
0.40	28.3	191.79	0.92	1.8	0.588	56586.84
0.55	28.3	191.79	0.88	1.8	0.574	55239.53
0.70	28.3	191.79	0.91	1.8	0.564	54277.17

Tabla 13. Resultados optimización de área/disco, 4 palas



Z=5						
Ae/Ao	Bp	δ_1	H/D	D	η_o	T
0.45	28.3	191.79	0.87	1.8	0.558	53699.76
0.60	28.3	191.79	0.86	1.8	0.572	55047.06
0.75	28.3	191.79	0.86	1.8	0.579	55720.71

Tabla 14. Resultados optimización de área/disco, 5 palas

Y procediendo de forma idéntica al apartado anterior se obtienen las gráficas de la relación área/disco mínima, cuyo valor resultará el punto donde corte la bisectriz.

Z=4		Z=5	
Keller	AE/AO	Keller	AE/AO
0.44	0.4	0.459	0.45
0.43	0.55	0.468	0.6
0.42	0.7	0.473	0.75

Tabla 15. Área/disco mínima calculada, para 4 y 5 palas, diámetro fijo

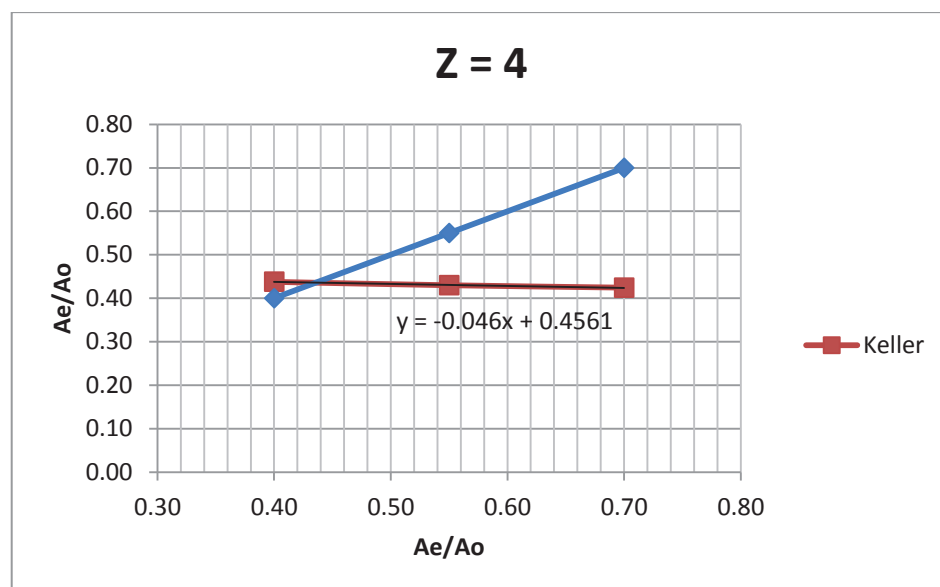


Figura 14: Representación gráfica área/disco mínima, 4 palas, diámetro fijo

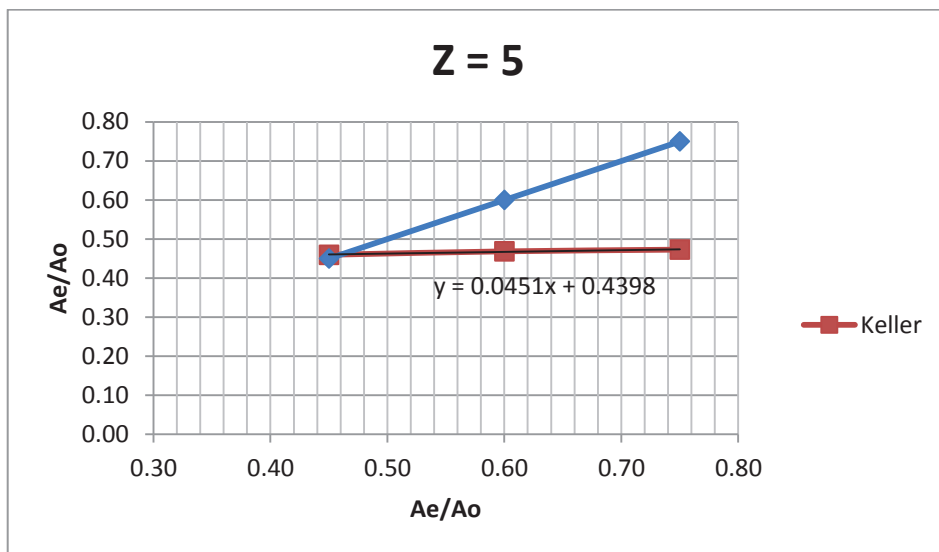


Figura 15: Representación gráfica área/disco mínima, 5 palas, diámetro fijo

Y, obtenida la relación área/disco mínima para cada versión (cuatro y cinco palas) se procede igual para calcular el paso diámetro y el rendimiento en ambas versiones, entrando con dicha relación se obtendrá de las siguientes gráficas:

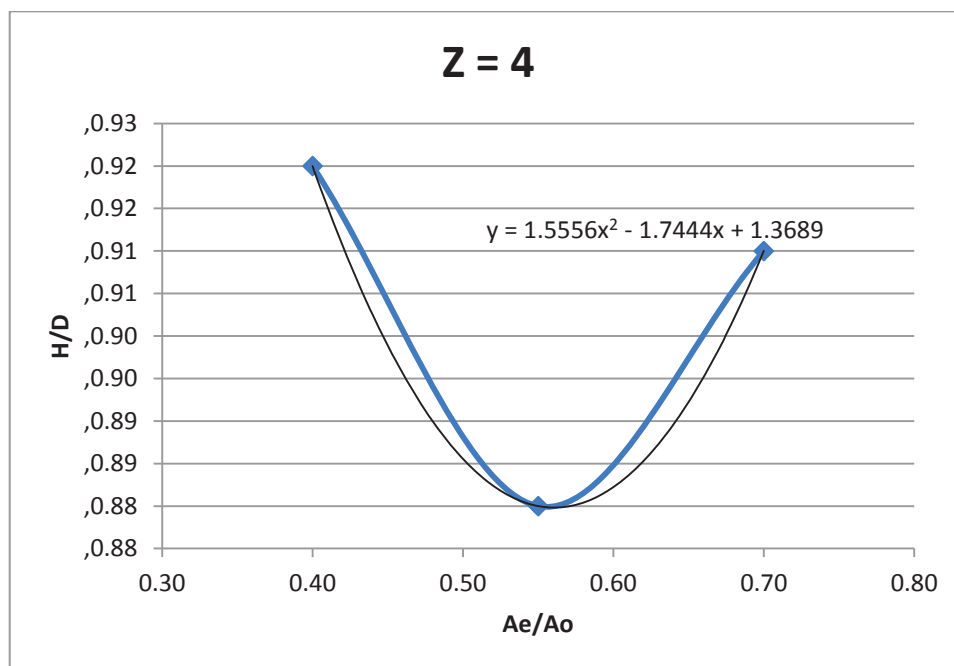


Figura 16: Representación gráfica paso/diámetro mínima, 4 palas, diámetro fijo

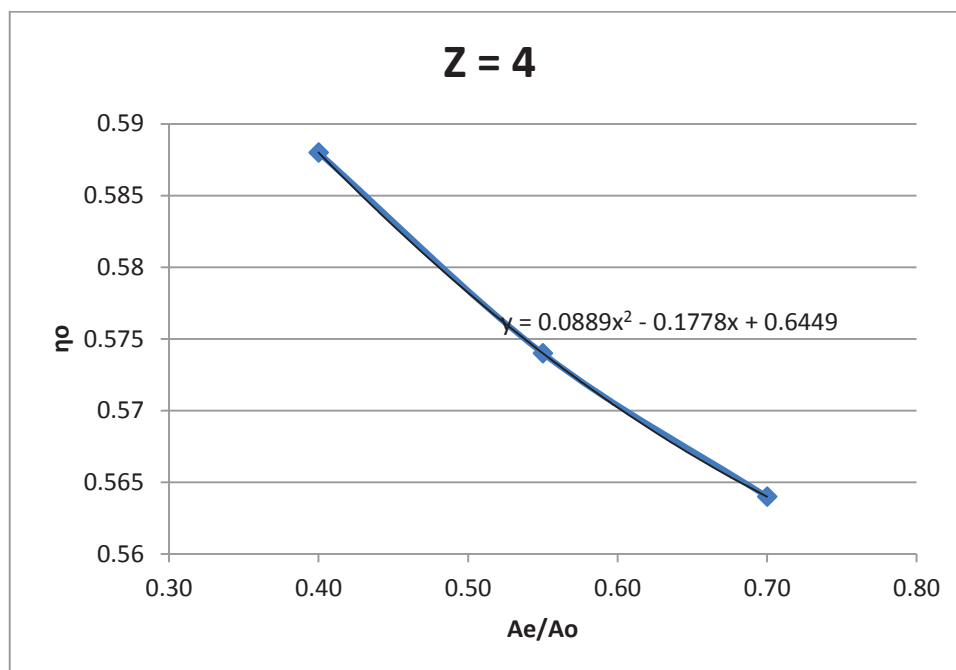


Figura 17: Representación gráfica rendimiento, 4 palas, diámetro fijo

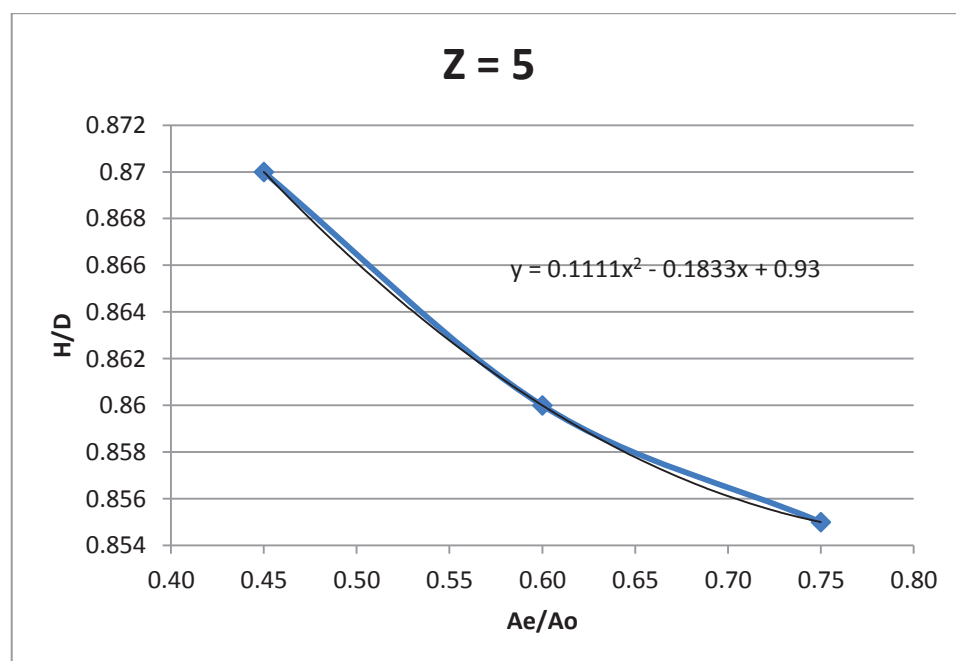


Figura 18: Representación gráfica paso/diámetro, 5 palas, diámetro fijo

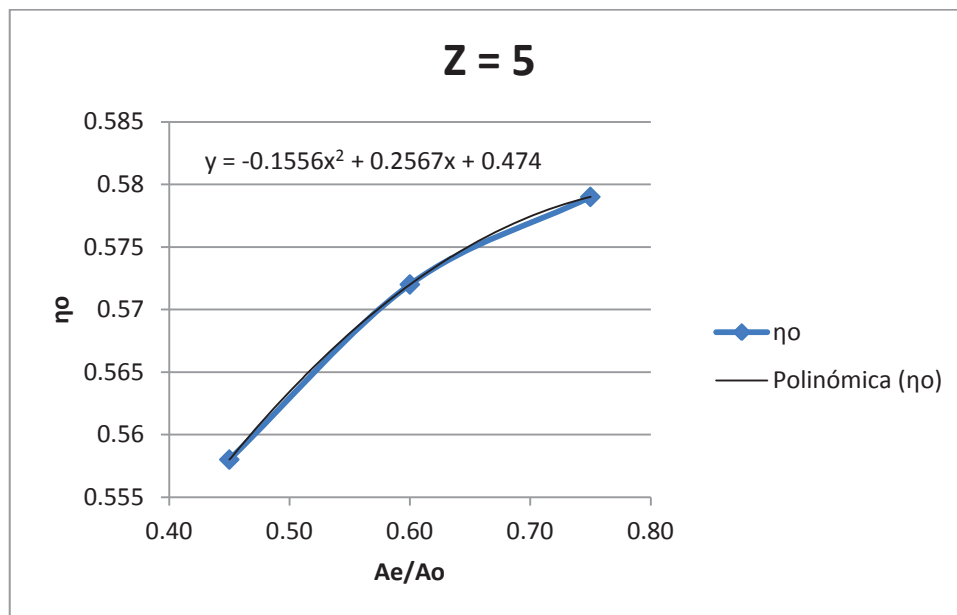


Figura 19: Representación gráfica rendimiento, 5 palas, diámetro fijo

El resumen de todas las características geométricas y rendimiento calculados del propulsor para cuatro y cinco palas se encuentra en la tabla siguiente:

	Ae/Ao	H/D	H (m)	D (m)	ηo	T (N)
Z = 4	0.436	0.904	1.63	1.800	0.584	56228.313
Z = 5	0.461	0.869	1.56	1.800	0.559	53817.348

Tabla 16. Tabla resumen características geométricas propulsor, 4 y 5 palas

Como puede observarse la opción de cinco palas nos ofrece un rendimiento y un empuje inferior, con lo que se desestimará, y para las posteriores iteraciones se estudiará el modelo de cuatro palas.

La relación, a la que llamaremos eficiencia, del empuje calculado entre el empuje que deben suministrar las hélices, llamado en la ecuación T_{real} resulta:

$$Eficiencia = \frac{T_{calculado}}{T_{real}} = \frac{56,23}{57,74} = 97,4\%$$

Que si bien es inferior al 3%, error que en algunos casos puede aceptarse vamos a tratar de minimizar al máximo, hasta obtener un error de menos del 1%.



Para ello repetimos el proceso de búsqueda de la relación área/disco óptima, pero esta vez en vez de usar un rendimiento $\eta_0=0,6$; vamos a usar el rendimiento obtenido para cuatro palas en el proceso, es decir $\eta_0=0,584$.

Con el nuevo rendimiento, las potencias DHP y DHP_{wag} se verán modificadas, resultando:

DHP/prop	469.59	kW
$DHP_{wag}/prop$	614.36	HP

Tabla 17. Tabla potencias DHP y DHP_{wag} , 1ª iteración

Esta nueva potencia afectará al B_p , aumentándolo ligeramente.

Realizando nuevamente todos los cálculos anteriores llegamos a las siguientes tablas de resultados:

Z=4						
Ae/Ao	B_p	δ_1	H/D	D (m)	η_0	T(N)
0.40	28.7	191.79	0.94	1.8	0.582	57516.89
0.55	28.7	191.79	0.915	1.8	0.568	56133.32
0.70	28.7	191.79	0.91	1.8	0.56	55342.71

Tabla 18. Resultados optimización de área/disco, 4 palas, 1ª iteración

Z=4	
Keller	AE/AO
0.444	0.4
0.435	0.55
0.431	0.7

Tabla 19. Área/disco mínima calculada, 1ª iteración

Y finalmente las características geométricas del propulsor:

Z = 4					
Ae/Ao	H/D	H (m)	D (m)	η_0	T (N)
0.441	0.931	1.68	1.800	0.578	57079.53

Tabla 20. Tabla resumen características geométricas propulsor, 4 palas, 1ª iteración

Cuya eficiencia resulta:

$$Eficiencia = \frac{T_{calculado}}{T_{real}} = \frac{57,08}{57,74} = 98,85\%$$



Un error mucho casi la mitad que el anterior, cercano al 1%, pero de acuerdo al objetivo que se ha marcado de reducir este error por debajo del 1% va a procederse a una nueva iteración, con el rendimiento obtenido $\eta_0=0,578$; siendo las nuevas potencias:

DHP/prop	475.03	kW
DHP _{wag} /prop	621.48	HP

Tabla 21. Tabla potencias DHP y DHP_{wag}, 2ª iteración

Lo que ofrece un aumento mínimo del B_p , pero suficiente para afectar a los valores obtenidos, que quedan recogidos nuevamente en tablas como las anteriores:

Z=4						
Ae/Ao	B _p	δ_1	H/D	D (m)	η_0	T(N)
0.40	28.8	191.79	0.945	1.8	0.577	57684.25
0.55	28.8	191.79	0.92	1.8	0.563	56284.63
0.70	28.8	191.79	0.925	1.8	0.555	55484.85

Tabla 22. Resultados optimización de área/disco, 4 palas, 2ª iteración

Z=4	
Keller	AE/AO
0.445	0.4
0.436	0.55
0.432	0.7

Tabla 23. Área/disco mínima calculada, 2ª iteración

Y las características geométricas del propulsor:

Z=4					
Ae/Ao	H/D	H (m)	D (m)	η_0	T (N)
0.4422	0.935	1.68	1.800	0.572	57232.22

Tabla 24. Tabla resumen características geométricas propulsor, 4 palas, 2ª iteración

Que tendrá una eficiencia de:

$$Eficiencia = \frac{T_{calculado}}{T_{real}} = \frac{57,23}{57,74} = 99,12\%$$

Que ya resulta una diferencia menor que el 1% como se pretendía, si bien este valor puede seguir mejorándose, la diferencia final va a ser poco notoria, por lo que se va a tomar este como el propulsor diseñado.



4.2. CRITERIO DE CAVITACIÓN

El fenómeno de cavitación es algo negativo que todo buque debe evitar, este fenómeno es además especialmente importante en buques oceanográficos.

En general la cavitación causará un aumento de las vibraciones y ruidos, perturbando el medio, lo que afecta negativamente a los estudios oceanográficos.

Además estas vibraciones y ruidos pueden causar molestias en el interior del buque, dificultando las labores de a bordo.

Otra consecuencia indeseable de la cavitación son los daños materiales que esta puede causar en la hélice así como la pérdida de rendimiento en la misma.

Por todo ello se va a comprobar que de acuerdo a lo diseñado la hélice no Cavite, para ello existen dos criterios diferentes, el más simple y común, es el criterio de Keller. El otro se conoce como criterio de Burrill y es algo más exacto en sus resultados.

Se va a proceder mediante ambos criterios.

4.2.1. CRITERIO DE KELLER

El criterio de Keller, ya explicado anteriormente, pero recordado en este apartado, establece que la relación área/disco mínima necesaria para evitar la cavitación viene dada por la siguiente expresión:

$$\frac{A_E}{A_O} = \frac{(1,3 + 0,3 \cdot Z) \cdot T}{(10100 + 1026 \cdot h) \cdot D^2} + k$$

Siendo Z el número de palas, T el empuje obtenido en kg (para lo que se dividirá el empuje en Newtons por el valor de la gravedad), h la inmersión en metros, D el diámetro obtenido para el propulsor en metros y k un valor determinado, que para buques de dos hélices vale 0,1.

Si sustituimos los valores obtenidos hasta el momento tendremos:

$$\frac{A_E}{A_O} = \frac{(1,3 + 0,3 \cdot 4) \cdot 57232,22}{(10100 + 1026 \cdot 3) \cdot 1,8^2} + 0,1 = 0,4419$$



Y el valor obtenido mediante el diseño por series sistemáticas en apartados anteriores ha resultado ser:

$$\frac{A_E}{A_O} = 0,4422 > 0,4419$$

De acuerdo con el criterio de Keller, si bien está en el límite, la hélice no cavitará, por lo que en principio es un resultado válido.

4.2.2. CRITERIO DE BURRILL

Una vez comprobado que el propulsor diseñado cumple el criterio de Keller, se va a estudiar que cumpla también el criterio de Burrill, algo más completo.

Este criterio establece una condición básica para evitar la cavitación, que el número de cavitación sea mayor que el cociente de la presión estática por la presión dinámica en un punto de la hélice, que suele tomarse como $0,7 \cdot R$.

La condición es la siguiente:

$$\sigma \geq \frac{P_e}{P_d} = \frac{P}{0,5 \cdot \rho \cdot V^2}$$

Donde la velocidad, al ser sobre un punto de la pala, tiene dos componentes, una componente axial, correspondiente a la velocidad con que llega el fluido y otra rotacional de la propia hélice, una sencilla regla trigonométrica nos ayudará a calcular la velocidad resultante:

$$V^2 = (0,5144 \cdot V_a)^2 + \left(2 \cdot \pi \cdot 0,7 \cdot R \cdot \frac{n}{60}\right)^2 \frac{m}{s}$$



El valor que nos faltaría para hallar el índice de cavitación mínimo sería la presión estática, la cual depende de la inmersión h_i del punto considerado, siendo:

$$P_e = 10159 + 1026 \cdot h_i \frac{kgf}{m^2}$$

Y la expresión para calcular h_i es:

$$h_i = T_{pp} + a - (h + 0,7 \cdot R) m$$

Siendo T_{pp} el calado a popa, h la inmersión del eje, R el radio del propulsor y a la altura de la ola en popa, que de acuerdo a estudios realizados en la materia se puede estimar como el 0,5% de la eslora entre perpendiculares, entonces se puede proceder a calcular el índice de cavitación mínimo:

$$\sigma \geq \frac{P_e}{P_d} = \frac{P_e}{0,5 \cdot \rho \cdot V^2} = \frac{10159 + 1026 \cdot [7,2 + 0,005 \cdot 80 - (3 + 0,7 \cdot 0,9)]}{0,5 \cdot \frac{1026}{9,8} \cdot \left[(0,5144 \cdot 9,24)^2 + \left(2 \cdot \pi \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot \frac{300}{60} \right)^2 \right]} = 0,656$$

Entrando en el diagrama de Burrill que se adjunta a continuación, con el número de cavitación local σ obtengo el valor τ_c

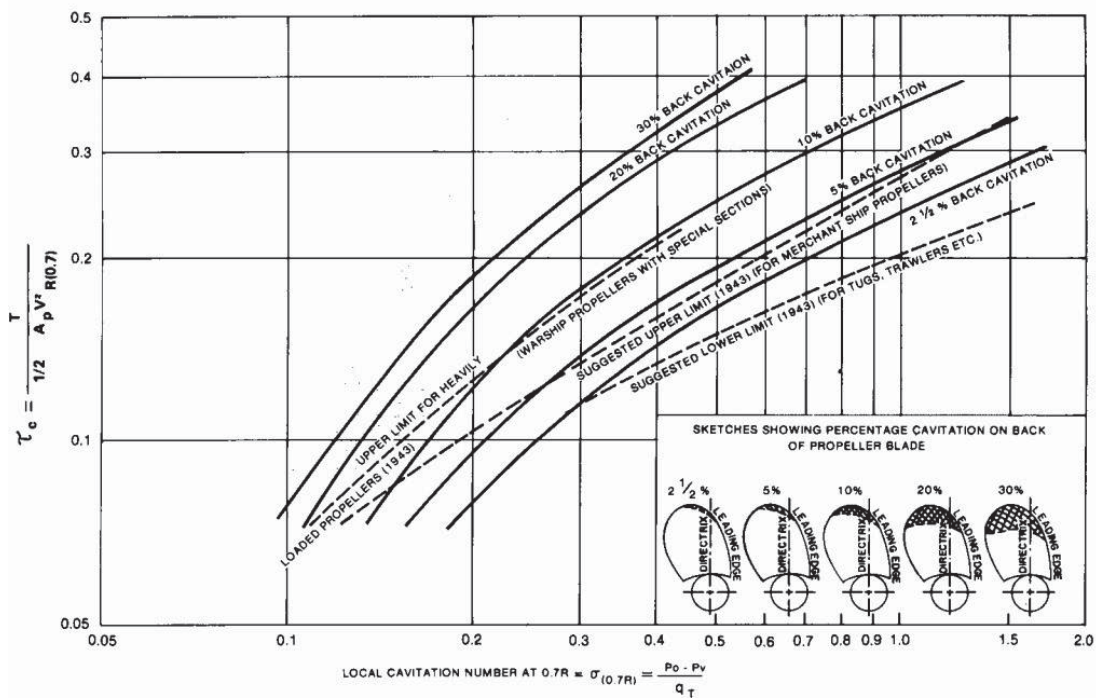


Figura 20: Diagrama de Burrill

$$\tau_c = \frac{T}{0.5 \cdot \rho \cdot A_p \cdot V_{0.7R}^2} = 0,23$$

Podemos entonces calcular el valor del área proyectada, pues conocemos el empuje entregado en la hélice, que se ha calculado en apartados anteriores y es 57.232 N, luego:

$$A_p = \frac{T}{0.5 \cdot \rho \cdot \tau_c \cdot V_{0.7R}^2} = \frac{57.232}{0.5 \cdot 1.026 \cdot 0,23 \cdot \left[(0,5144 \cdot 9,24)^2 + \left(2 \cdot \pi \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot \frac{300}{60} \right)^2 \right]}$$

$$A_p = 1,16$$



Sabiendo que el área del disco es:

$$A_o = \pi \cdot 0,9^2 = 2,55 \text{ m}^2$$

Se podrá estimar la relación área/disco mínima para evitar la cavitación de acuerdo a:

$$\frac{A_E}{A_o} = \frac{\frac{A_P}{A_o}}{1,067 - 0,229 \cdot \frac{H}{D}} = \frac{\frac{1,16}{2,55}}{1,067 - 0,229 \cdot 0,935} = 0,533$$

Un valor superior al 0,422 calculado anteriormente, luego será necesario rediseñar el propulsor para que no cavite.

4.3. OPTIMIZACIÓN DEL PROPULSOR II

De acuerdo al criterio de Burrill, el propulsor inicialmente diseñado presentaba cavitación en las palas, por ello, dada la importancia de este fenómeno en esta clase de buques se ha decidido rediseñar y optimizar el propulsor con la relación área/disco mínima necesaria de acuerdo a este criterio, que es 0,533, pero se va a redondear a 0,54 para evitar posibles incidencias.

4.3.1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

El proceso de cálculo es semejante al anterior, volviendo al punto de optimización de relación área/disco en de este mismo cuaderno (4.1.3.), fijo en este caso la relación área/disco en 0,535 y calculo el resto de valores, obteniendo:

Z=4					
Ae/Ao	H/D	H	D	η_o	T
0.54	0.921	1.66	1.800	0.564	56361.64

Tabla 25. Resumen características geométricas propulsor, 4 palas área/disco fija (Burrill)



$$Eficiencia = \frac{T_{calculado}}{T_{real}} = \frac{56,362}{57,74} = 97,61\%$$

Pero en este caso la eficiencia vuelve a decrecer, ofreciendo una diferencia mayor del 2%, con lo que se realiza una nueva iteración para obtener un empuje mayor, para ello se procede como en el apartado mencionado, empleando el nuevo rendimiento $\eta_o=0,564$, obtendremos las siguientes potencias:

DHP/prop	486.33	kW
DHP _{wag} /prop	636.268491	HP

Tabla 26. Tabla potencias DHP y DHP_{wag}, 3ª iteración

Y con ello la tabla de valores:

Z=4					
Ae/Ao	B _p	δ ₁	H/D	D	η _o
0.40	29.2	191.79	0.965	1.8	0.575
0.55	29.2	191.79	0.94	1.8	0.56
0.70	29.2	191.79	0.935	1.8	0.553

Tabla 27. Resultados optimización de área/disco, 4 palas, 3ª iteración

Como se puede observar ya no se calcula el empuje ofrecido para cada relación, esto es porque su finalidad consistía en hallar la relación área/disco mínima posible de acuerdo al criterio de Keller, el cual ahora será cumplido con creces, siendo el objetivo de este nuevo cálculo cumplir también con el de Burrill.

Los valores a calcular son en este caso el paso/diámetro y el rendimiento, que se recogen en la tabla siguiente:

Z=4					
Ae/Ao	H/D	H	D	η _o	T
0.54	0.941	1.69	1.800	0.561	57431.36

Tabla 28. Tabla resumen características geométricas propulsor, 4 palas, 3ª iteración

Comprobamos que la eficiencia del propulsor ofrezca una diferencia inferior al 1% como se ha buscado desde un principio:

$$Eficiencia = \frac{T_{calculado}}{T_{real}} = \frac{57,431}{57,74} = 99,46\%$$

Un valor de aproximadamente un 0,5%, que puede considerarse una diferencia despreciable, luego se toma como válido.



4.3.2. CAVITACIÓN

El último paso es comprobar que el nuevo propulsor no cavita, para ello se calculará la relación área/disco mínima de Keller, que evidentemente dará muy debajo de nuestro valor, y el criterio de Burrill, que ha sido el crítico es el que se ha usado para definir la nueva relación debería cumplir también.

El criterio de Keller únicamente se verá afectado en el empuje total entregado, el resto de valores permanecerán igual y será:

$$\frac{A_E}{A_o} = \frac{(1,3 + 0,3 \cdot Z) \cdot T}{(10100 + 1026 \cdot h) \cdot D^2} + k = \frac{(1,3 + 0,3 \cdot 4) \cdot 57431}{(10100 + 1026 \cdot 3) \cdot 1,8^2} + 0,1 = 0,4431$$

Valor tal y como se esperaba muy por debajo del nuevo diseño, tal y como se esperaba.

En el criterio de Burrill los valores σ y τ_c no varían, sin embargo el área proyectada depende del empuje entregado que en este caso será ligeramente mayor:

$$A_P = \frac{T}{0,5 \cdot \rho \cdot \tau_c \cdot V_{0,7R}^2} = \frac{57.431}{0,5 \cdot 1.026 \cdot 0,23 \cdot \left[(0,5144 \cdot 9,24)^2 + \left(2 \cdot \pi \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot \frac{300}{60} \right)^2 \right]}$$

$$A_P = 1,164$$

Lo que afectará al cálculo de la relación área/disco mínima, y dado que el área del disco no cambia, el otro valor que afectará a este criterio es el nuevo paso/diámetro calculado, ligeramente superior al anterior:

$$\frac{A_E}{A_o} = \frac{\frac{A_P}{A_o}}{1,067 - 0,229 \cdot \frac{H}{D}} = \frac{\frac{1,164}{2,55}}{1,067 - 0,229 \cdot 0,941} = 0,536$$



Finalmente, para un mayor ajuste tomo este valor de 0,536 y entrando en los valores de las tablas anteriores obtengo que una diferencia tan pequeña no afecta a las características geométricas de forma visible, y sin embargo el propulsor produce un poco más de empuje, reduciendo la diferencia respecto del empuje necesario a menos del 0,5%:

Z=4					
Ae/Ao	H/D	H	D	η_o	T
0.536	0,941	1,69	1,800	0,561	57463,14

Tabla 29. Tabla resumen características geométricas propulsor, 4 palas, valor final

$$Eficiencia = \frac{T_{calculado}}{T_{real}} = \frac{57,463}{57,74} = 99,52\%$$

4.4. POTENCIA ENTREGADA

Para calcular la potencia real entregada primero debe calcularse el rendimiento cuasi-propulsivo del propulsor η_D a partir de la expresión siguiente:

$$\eta_D = \eta_h \cdot \eta_{rr} \cdot \eta_o$$

Siendo η_h el rendimiento del casco, que se calcula en función de los coeficientes de estela y de succión de acuerdo a la fórmula:

$$\eta_h = \frac{1-t}{1-w} = \frac{1-0,172}{1-0,16} = 0,986$$

El rendimiento rotativo-relativo η_{rr} se halla, de acuerdo al método de Holtrop y Mennen (según Ref. [1]), sabiendo que la distancia al centro de carena, referida a la cuaderna maestra es XB = -2,82 m, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\eta_{rr} = 0,9922 - 0,05908 \cdot \left(\frac{Ae}{Ao}\right) + 0,07424 \cdot (C_p - 0,0225 \cdot XB)$$

$$\eta_{rr} = 0,9922 - 0,05908 \cdot 0,536 + 0,07424 \cdot (0,681 - 0,0225 \cdot (-2,82)) = 1,016$$



Finalmente, el rendimiento en aguas libres η_0 lo hemos calculado durante la optimización del propulsor principal, y es en este caso de 0,561.

Luego el rendimiento cuasi-propulsivo queda:

$$\eta_D = \eta_h \cdot \eta_{rr} \cdot \eta_0 = 0,986 \cdot 1,016 \cdot 0,561 = 0,562$$

Conociendo la relación entre EHP y DHP tendremos:

$$DHP = \frac{EHP}{\eta_D} = \frac{548,74}{0,562} = 976,71 \text{ kW}$$

4.5. DATOS DEL PROPULSOR

De acuerdo a todo lo anteriormente expuesto y calculado, los propulsores principales van a ser dos Rolls Royce – Ulstein US 105 con las siguientes características:

Características geométricas		
Z	4	-
Tipo hélice	FPP	-
D	1,8	m
Ae/Ao	0,536	-
H/D	0,941	-
h	3	m
n	300	RPM
η_0	0,561	-

Características de fabricante		
Pot. Max.	700	kW
V entrada	750-2000	RPM
Peso	5150	kg

Tabla 30. Tabla resumen datos del propulsor

5. PROPULSOR SECUNDARIO

Tal y como se ha estudiado al comienzo del cuaderno (punto 3.2.) se ha decidido instalar como propulsor secundario o auxiliar, para alcanzar velocidades de 15 nudos un SPJ, que significa Schottel Pump-Jet, ya que no sobresale del casco en ningún punto ni condición de operación, con lo que no entorpece al avance normal del buque. Además de proporcionar una gran maniobrabilidad, los ruidos y vibraciones del sistema son bastante reducidos.

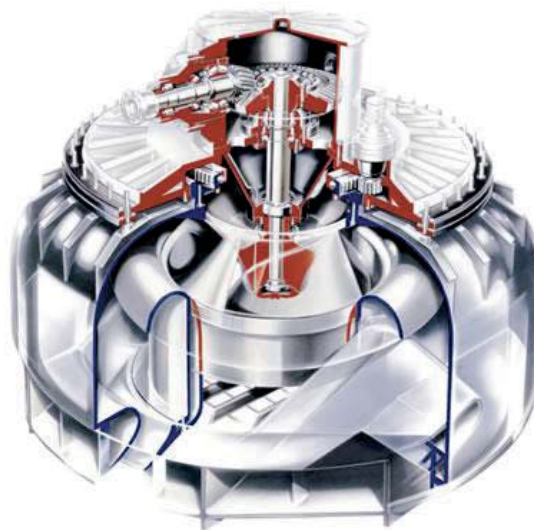


Figura 21: SPJ, visión general

Este sistema propulsor, de acuerdo a lo especificado por el fabricante puede otorgar potencias desde 50 kW hasta 3000 kW.

Este sistema podrá activarse para otorgar al buque una velocidad máxima de 15 nudos. Velocidad a la cual se supondrá que el buque no estará trabajando en labores oceanográficas, es por eso que en este caso la optimización del propulsor no se considera prioritaria, pues el fabricante asegura que su sistema es capaz de entregar la potencia necesaria, y dado que se entiende esta velocidad como requisito de proyecto para situaciones extraordinarias del se tomarán los valores estándar del sistema, sin necesidad de comprobar criterios como cavitación u optimización del rendimiento.

Hay que calcular la potencia que el propulsor tiene que entregar, teniendo en cuenta la resistencia al avance a velocidad máxima y descontando la potencia que entregan los propulsores principales del buque.



5.1. POTENCIA DEL PROPULSOR SECUNDARIO

Como se ha calculado al principio de este cuaderno, la potencia efectiva necesaria para la velocidad máxima (15 nudos) es:

Holtrop & Menen		
V (knts)	R (kN)	EHP (kW)
15	265,84	2051,43

Tabla 31. Resistencia y potencia efectiva a 15 nudos

Para poder estimar la potencia que tiene que entregar el propulsor secundario, se va a deducir la potencia efectiva que proporcionan los propulsores principales de la potencia efectiva total, $EHP_{pp} = 548,74$ kW, tal como se recoge en el apartado 4.1. del presente cuaderno.

Sin embargo este valor de potencia efectiva no será el utilizado en este caso, ya que en cuando se navegue a velocidad la máxima, el motor eléctrico que acciona los propulsores principales del buque incrementará la potencia entregada, puesto que tal y como se verá en el apartado 6. de este cuaderno, estos motores dispondrán de una gama de potencias que cubre desde la potencia necesaria para el avance a 11 nudos (velocidad económica) hasta la potencia máxima que aceptan los propulsores azimutales, 700 kW.

Para evitar riesgo de avería en dichos propulsores, se va a utilizar durante la navegación a velocidad máxima una potencia entregada por los propulsores azimutales $DHP_{prop} = 600$ kW cada uno, luego la EHP_{pp} será:

$$EHP_{pp} = 2 * \frac{600}{0,561} = 673,2 \text{ kW}$$

Es importante destacar que los coeficientes de estela y de succión en el SPJ serán diferentes respecto de los azimutales, dada su situación bajo en popa bajo el casco, el fluido apenas resulta afectado por el casco, con lo que el coeficiente de estela se estimará en $w = 0,01$ y el coeficiente de succión, como $t = 0,008$.

Se procede al cálculo del empuje necesario y la potencia efectiva a dicho empuje:

$$T = \frac{R}{1 - 0,008} = \frac{265,84}{1 - 0,008} = 267,98 \text{ kN}$$

$$V_a = V \cdot (1 - w) = 15 \cdot (1 - 0,01) = 14,85 \text{ nudos}$$

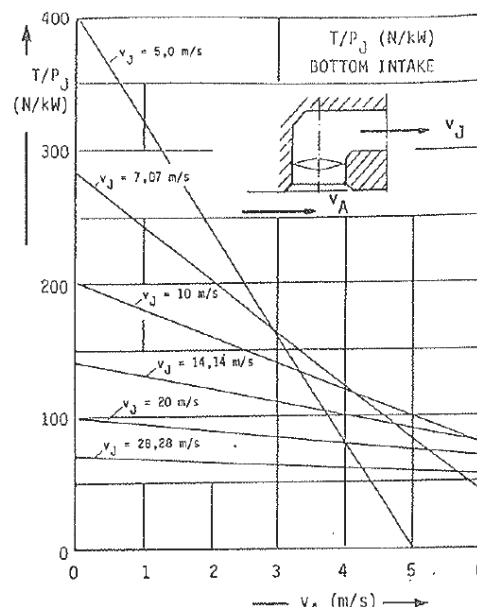


$$EHP = T \cdot V_a = 267,98 \cdot 14,85 \cdot 0,5144 = 2047,06 \text{ kW}$$

A este valor de la potencia efectiva se le deduce como se ha explicado anteriormente la potencia efectiva de los propulsores principales, quedando:

$$EHP_{PS} = EHP - EHP_{PP} = 2041,06 - 673,2 = 1373,86 \text{ kW}$$

Para el cálculo de la potencia entregada por el sistema se va a considerar, de acuerdo con la referencia [3], un valor de 8 kg/hp, que se verá lógicamente reducido a medida que la velocidad se incremente, tal y como se muestra en la siguiente gráfica de la referencia:



Y el empuje a proporcionar por el propulsor secundario será:

$$T_{PS} = \frac{EHP_{PS}}{V_a} = \frac{1373,86}{14,85} = 92,52 \text{ kN}$$

Entonces la potencia entregada por el mismo será para 15 nudos, el resultado de la expresión expuesta a continuación:

$$DHP_{PS} = \frac{T_{PS}}{T/P_j}$$



Donde se considera el cociente $\frac{T}{P_J} = 0,08 \frac{kg}{hp} = 0,105 \frac{kN}{kW}$, para la velocidad de 0 nudos.

Para la velocidad máxima se va a aplicar un factor del 40% de acuerdo a lo observado en casos reales en concordancia con lo expuesto en la referencia anteriormente citada.

Se tendrá por tanto una potencia entregada de:

$$DHP_{PS} = \frac{92,52}{0,105 \cdot 0,4} = 2202,86 \text{ kW}$$

5.2. DATOS DEL PROPULSOR

Type	Rating* Leistung*	Input power Eingangsleistung max. [kW]	Input speed Eingangsdrehzahl [r.p.m./Upm]	Well Brunnen Ø [mm]	Weight Gewicht [kg]**
SPJ 15***	A	49	1470	660	360
	B	64	1600		
	C	75	1690		
SPJ 22	A	72	1950	900	380
	B	94	2130		
	C	110	2250		
SPJ 57	A	168	1390	1300	1570
	B	223	1520		
	C	257	1600		
SPJ 82	A	272	1060	1680	3000
	B	357	1160		
	C	420	1230		
SPJ 132	A	422	1010	2160	5250
	B	555	1110		
	C	650	1170		
SPJ 220	A	650	1020	2700	8900
	B	850	1110		
	C	1000	1170		
SPJ 320	A	1430	850	3400	28000
	B	1880	930		
	C	2200	980		
SPJ 520	A	2270	870	4300	40500
	B	2990	950		
	C	3500	1000		

* Rating A Full power continuous rating 24 hours service / Vollast-Dauerbetrieb
Rating B Intermittent service with occasional full load / Teillast mit gelegentlicher Überlastung
Rating C Auxiliary installations / Hilfsanlagen
** Weight only SPJ with oil (without outer well and resilient mounting) / Gewicht nur SPJ mit Öl (ohne Außenbrunnen und elastische Lagerung)
*** Vertical power input only / Krafteingang nur vertikal

Tabla 32. Características de SPJ, dadas por el fabricante (Schottel)

De acuerdo a la tabla mostrada sobre estas líneas, el SPJ adecuado para este caso sería el modelo SPJ520, capaz de ofrecer 2990 kW a máxima potencia con servicio intermitente como



es el caso.

Las características generales quedan recogidas en la tabla mostrada a continuación.

Características generales		
Pot. Max.	2990	kW
V entrada	950	RPM
D entrada	4,3	m
Peso	40500	kg

Tabla 33. Características generales SJP elegido

6. PROPULSORES TRANSVERSALES DE PROA

Se van a instalar dos hélices transversales de proa, cada una de ellas con la potencia necesaria que se calcule a continuación, de tal manera que solo sea necesario el uso de una de ellas para mantener la posición, esta decisión responde a la especificación de proyecto referida al sistema de posicionamiento dinámico DP II, que exige al buque disponer de un sistema de redundancia.

El cálculo de la hélice transversal de proa según la Ref. [3] requiere primero hallar el empuje necesario F (kN/m^2) a través de la tabla siguiente, entrando con la eslora entre perpendiculares y asemejando nuestro buque oceanográfico a un supply, cuyas formas son semejantes tal como se expuso en el cuaderno 2.

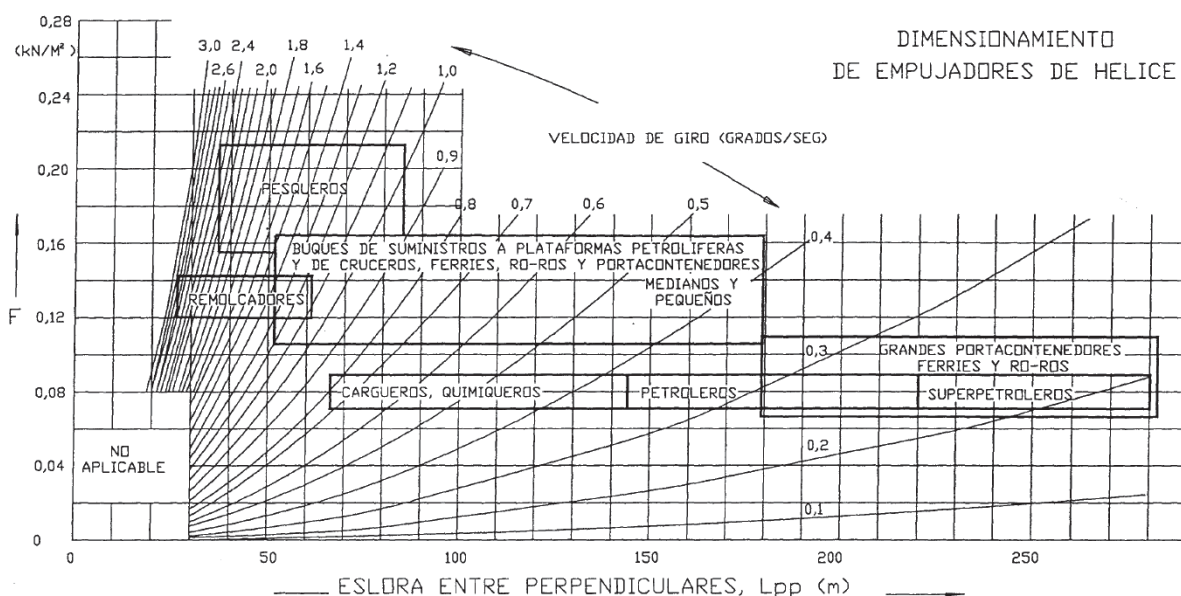


Figura 22: Gráfica empuje transversal necesario

El valor de F se encuentra entonces entre $0,105 \text{ kN/m}^2$ y $0,165 \text{ kN/m}^2$, con que se tomará un valor de $0,14 \text{ kN/m}^2$.

El empuje total se calcula en función de la eslora entre perpendiculares y el calado como sigue:

$$\text{Empuje} = 0,14 \cdot L_{PP} \cdot T = 80,64 \text{ kN}$$



Sabiendo que los empujadores de la hélice transversal en un túnel tienen un valor medio de 11kg/HP de relación entre el empuje suministrado por la hélice y la potencia suministrada por el motor de accionamiento se puede calcular sencillamente la potencia que deberán suministrar dichos motores a la hélice:

$$BHP = \frac{\frac{80,64}{9,81}}{11} = 747,3 \text{ HP} \approx 557,26 \text{ kW}$$

Para calcular la velocidad de giro del buque, debido a los propulsores transversales de proa se puede o bien entrar en la gráfica previa, que para nuestro caso ($L_{pp} = 80 \text{ m}$ y $F = 0,14 \text{ kN/m}^2$) resulta rápido ver que está cercano al valor $0,9 \text{ }^\circ/\text{s}$; aunque siendo ligeramente inferior a este, o bien aplicar la fórmula para tener el valor exacto:

$$Velocidad_{giro} = \frac{188}{L_{pp}} \cdot F^{\frac{1}{2}} = \frac{188}{80} \cdot 0,14^{\frac{1}{2}} = 0,88 \frac{^\circ}{s}$$

Aunque estos cálculos pueden resultar válidos para un hélice de maniobra, y se tomaron como tal durante la fase previa de diseño del buque, en el caso que nos ocupa, debido al sistema de posicionamiento dinámico exigido: DP II, llegamos a una conclusión diferente, pues para mantener la posición frente a condiciones climáticas adversas, se deben instalar dos hélices transversales de 1000 kW cada uno, es decir casi el doble del inicialmente calculado según la referencia.

Esta decisión se tomó una vez realizado el estudio de notación de clase DP llevado a cabo en el cuaderno extra.

Los propulsores transversales finalmente escogidos serán por tanto el modelo STT4 de la marca Schottel, que para labores de DP puede ofrecer entre 1000 y 1200 kW.



FP -Type	Pmax* Aux [kW]	Pmax** DP [kW]	Input Speed*** [rpm]	Propeller ø [mm]	Tunnel length [mm]	Approx. Weight*** [t]
Standard operation with FP propeller and electric prime mover *						
STT 60	100-125	85-105	1200 / 1500	620	1000	0,56
STT 110	160-200	150-180	1200 / 1500	790	1000	0,89
STT 170 T	290-315	230-300	1200 / 1500 / 1800	990	1500	1,68
STT 170	280-350	200-315	1200/ 1500 / 1800	1090	1500	1,73
STT 1	500-550	380-500	1200 / 1500 / 1800	1240	1500	3,00
STT 2	690-850	610-760	1200 / 1500 / 1800	1540	1500	4,50
STT 3	815-1000	745-900	1200 / 1500 / 1800	1740	2000	6,40
STT 4	1300-1400	1000-1200	1000 / 1200	1990	2000	9,40
STT 5	1500-1800	1200-1500	1000 / 1200	2240	2350	11,00
STT 6	2000-2200	1800-2000	900 / 1000	2590	2750	17,00
STT 7	2400-2800	2200-2500	900 / 1000	2790	3000	21,00
STT 8	3000-3400	2500-3000	750	3290	3010	32,00

Características generales		
Pot. Max.	1000-1200	kW
V entrada	1000/1200	RPM
D prop	1990	mm
Peso	9,4	t
L túnel	2000	mm

Tabla 34. Características generales hélices transversales de proa



7. CONCLUSIONES

A lo largo de este cuaderno se han definido todos los sistemas propulsores del buque de acuerdo a los requisitos del proyecto.

Lo primero ha sido decidir qué tipo de propulsores se iban a instalar en el buque para las diferentes condiciones, es decir se ha procurado elegir la alternativa óptima para los propulsores principales que van a mover el buque a la velocidad económica y también el sistema para moverlo a velocidad máxima.

Una vez decidido lo anterior se han optimizado los propulsores principales a fin de conocer la velocidad de giro y características geométricas de los mismos para obtener el máximo rendimiento, y por supuesto evitar la cavitación, no solo por los daños que esta pueda causar en la hélice y los ruidos a bordo, además en el caso de los buques oceanográficos la cavitación afecta negativamente a las labores propias que se estén desarrollando.

Diseñados los propulsores principales, y conociendo la alternativa que va a emplearse como propulsión auxiliar para la velocidad máxima, se ha estimado la potencia que esta propulsión secundaria va a necesitar.

Por último se ha calculado la potencia necesaria por empujador transversal de proa, y elegido uno existente en consonancia.

Están por tanto, definidos todos los dispositivos de propulsión que el buque incorpora, y que pueden dividirse en:

- Propulsores principales azimutales de popa
- Propulsor secundario tipo water-pump
- Propulsores transversales de proa.

Y queda calculada la potencia necesaria para accionar cada uno de ellos.



8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MEIZOSO FERNÁNDEZ, MANUEL; ALVARIÑO CASTRO, RICARDO; AZPÍROZ AZPÍROZ, JUAN JOSÉ. *“El Proyecto Básico del Buque Mercante”*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval, 1997
- [2] BAQUERO MAYOR, ANTONIO. *“Introducción a la Resistencia y Propulsión”*. ETSIN, 2011
- [3] BLENDERMAN, W.; BRIX, J.; GRENSEMANN, K.; NORRBIN, N.H.; PIEPER, W.; SCHWANECKE, H.; SHARMA, S.D.; SÖDING, H.; WAGNER, B.; WEIB, F «Manoeuvring Technical Manual». Seehafen Verlag, Hamburgo 1993



PROYECTO Nº 252

BUQUE OCEANOGRÁFICO

DE 7.000 T

Cuaderno 7

Planta propulsora y cámara de máquinas

TUTOR: ELOY J. CARRILLO HONTORIA

ALUMNO: ALEJANDRO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
1.	INTRODUCCIÓN	6
2.	PLANTA PROPULSORA	7
2.1.	TIPO DE CORRIENTE	7
2.2.	TIPO DE MOTOR	8
2.3.	MOTOR PROPULSORES PRINCIPALES	8
2.4.	MOTOR PROPULSOR SECUNDARIO	12
2.5.	MOTOR PROPULSORES TRANSVERSALES	15
3.	CÁMARA DE MÁQUINAS Y PLANTA PROPULSORA	17
3.1.	GENERADORES PRINCIPALES	17
3.2.	GENERADOR DE PUERTO	18
3.3.	GENERADOR DE EMERGENCIA	19
4.	EQUIPOS Y SERVICIOS DE LA CÁMARA DE MÁQUINAS	20
4.1.	SERVICIO DE COMBUSTIBLE	20
4.1.1.	TIPO DE COMBUSTIBLE	20
4.1.2.	TANQUES DE COMBUSTIBLE	21
4.1.3.	SISTEMA DE TRASIEGO DE COMBUSTIBLE	21
4.1.4.	SISTEMA DE PURIFICACIÓN DEL COMBUSTIBLE	23
4.1.5.	BOMBA DE LODOS	24
4.1.6.	SERVICIO DE ALIMENTACIÓN DEL COMBUSTIBLE	25
4.2.	SERVICIO DE ACEITE	25
4.2.1.	TIPO DE ACEITE	25
4.2.2.	TANQUE ALMACÉN	25
4.2.3.	ACEITE SUCIO	26
4.2.4.	LODOS	26
4.2.5.	BOMBA DE ACEITE	26
4.2.6.	BOMBA DE PRELUBRICACIÓN	27
4.2.7.	PRECALENTADOR DE ACEITE	27
4.2.8.	FILTROS DE ACEITE	28
4.2.9.	PURIFICADORA DE ACEITE	28



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
4.2.10.	BOMBA DE LUBRICACIÓN PRINCIPAL	29
4.3.	SERVICIO DE REFRIGERACIÓN	29
4.3.1.	CIRCUITO DE AGUA SALADA	30
4.3.2.	CIRCUITO DE AGUA DULCE	34
4.3.3.	INTECAMBIADORES DE CALOR.....	38
4.4.	SERVICIO DE AIRE COMPRIMIDO	41
4.4.1.	BOTELLAS DE AIRE COMPRIMIDO	42
4.4.2.	COMPRESORES DE AIRE.....	44
4.5.	SISTEMA DE EXHAUSTACIÓN	45
4.6.	SISTEMA DE VENTILACIÓN	47
4.6.1.	DISTRIBUCIÓN DE LA VENTILACIÓN EN CÁMARA DE MÁQUINAS	48
4.6.2.	VENTILACIÓN CÁMARA DE MÁQUINAS.....	49
4.6.3.	CAUDAL GENERADOR DE EMERGENCIA	52
4.6.4.	CAUDAL EQUIPOS ELÉCTRICOS.....	54
4.7.	SISTEMA HIDRÁULICO	55
5.	CONCLUSIONES.....	56
6.	BIBLIOGRAFÍA	57
7.	ANEXO 1: DISTRIBUCIÓN DE LA CÁMARA DE MÁQUINAS	58
8.	ANEXO 2: DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	59



INDICE DE FIGURAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Ilustración 1. Generador principal, Caterpillar C32.....	17
	Ilustración 2. Generador de emergencia, Caterpillar C18.....	19
	Ilustración 3. Diagrama de funcionamiento, sistema de refrigeración.....	38
	Ilustración 4. Flujos ventilación CCMM.....	49



INDICE DE TABLAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Tabla 1. Condiciones de carga, motor principal.....	11
	Tabla 2. Características motor principal.....	12
	Tabla 3. Condiciones de carga, motor secundario	14
	Tabla 4. Características motor secundario.....	15
	Tabla 5. Condición de carga operacional, motor transversal.....	16
	Tabla 6. Características motor transversal.....	16
	Tabla 7. Resumen consumo potencia, diferentes escenarios.....	17
	Tabla 8. Resumen cargas, diferentes escenarios	18
	Tabla 9. Resumen carga, situación de puerto	18
	Tabla 10. Resumen carga, situación de emergencia	19
	Tabla 11. Características combustible MDO DMB	20
	Tabla 12. Volumen tanques combustible.....	21
	Tabla 13. Bomba trasiego MDO	22
	Tabla 14. Purificadora MDO	24
	Tabla 16. Bomba de lodos	24
	Tabla 17. Bomba de aceite	26
	Tabla 18. Bomba de prelubricación	27
	Tabla 19. Purificadora de aceite.....	29
	Tabla 21. Bomba de refrigeración agua salada	34
	Tabla 22. Bomba de refrigeración agua dulce generadores	35
	Tabla 23. Bomba de refrigeración agua dulce mot. ppal.	36
	Tabla 24. Bomba de refrigeración agua dulce mot. sec.....	37
	Tabla 25. Intercambiador de calor del motor principal (IC1).....	40
	Tabla 26. Intercambiador de calor del motor secundario (IC2)	41
	Tabla 27. Intercambiador de calor de los generadores principales (IC3)	41
	Tabla 28. Compresor aire arranque grupos principales.....	44
	Tabla 29. Compresor aire arranque grupo de emergencia	45
	Tabla 30. Compresor equipos secundarios	45
	Tabla 31. Nivel sonoro, grupo generador principal.....	46
	Tabla 32. Ventilador entrada aire CCMM	52
	Tabla 33. Ventilador extracción aire CCMM	52
	Tabla 34. Ventilador entrada aire local emergencia	53
	Tabla 35. Ventilador extracción aire local emergencia	54
	Tabla 36. Ventilador entrada aire eq. eléctricos	54
	Tabla 37. Ventilador salida aire eq. eléctricos	55
	Tabla 38. Bomba hidráulica.....	55



1. INTRODUCCIÓN

Se definirá en este cuaderno la cámara de máquinas y planta propulsora del buque.

El correcto diseño de estos locales cobra gran importancia, puesto que una considerable cantidad de consumidores irán distribuidos en ellos. Además un diseño insatisfactorio podría tener fatales consecuencias en el funcionamiento del buque, puesto que de los sistemas auxiliares depende el correcto funcionamiento de la planta generadora así como de los motores propulsores eléctricos.

Lo primero a definir serán, en base a datos de otros cuadernos del proyecto, tanto los motores propulsores eléctricos, tipo y modelo, como los grupos generadores a instalar en el buque.

Se va a diseñar también el sistema de ventilación para estos locales, dada su gran importancia, puesto que los grupos generadores radian grandes cantidades de calor, y consumen adicionalmente un flujo de aire notable para su funcionamiento. Además de esto en la cámara de máquinas el aire puede contaminarse o saturarse de ciertos gases nocivos que deben poder evacuarse sin problemas.

Otro sistema de vital importancia en el correcto funcionamiento de la planta generadora y propulsora del buque es el sistema de refrigeración, que evite el sobrecalentamiento de los diferentes sistemas y elementos, es por ello que se tratará de diseñar con especial cuidado en el presente cuaderno.



2. PLANTA PROPULSORA

La planta propulsora del buque puede dividirse en tres grupos:

- Los motores principales, encargados de accionar los propulsores principales, es decir los propulsores acimutales de popa.
- El motor secundario, empleado para activar la bomba del water-pump.
- Los motores auxiliares para las hélices transversales de proa.

En todos los casos los motores a emplear serán de accionamiento eléctrico y sus características acordes a los valores necesarios para cada motor.

2.1. TIPO DE CORRIENTE

La primera decisión que debe tomarse en el uso de motores eléctricos es el tipo de corriente a utilizar: corriente continua o corriente alterna.

Si bien los sistemas de corriente continua son más baratos, sus dispositivos tienen unas dimensiones y peso mayor, no únicamente el propio motor, también los cables requieren una sección mayor.

Otra ventaja que se encuentra en los motores de corriente continua podría ser el nivel de ruidos, inferior que en los sistemas de corriente alterna, sin embargo estos últimos también son muy silenciosos con lo que esta ventaja no será un punto decisivo en la elección.

La corriente alterna además permite el uso de transformadores, pudiendo ajustar la tensión a la línea que se necesite.

Finalmente, referido a los propios motores, el rendimiento de los mismos en general es notoriamente mayor para motores de corriente alterna frente a los de corriente continua, del orden de unos 5% mayores.

Lo anteriormente expuesto se considera suficiente para elegir corriente alterna frente a continua en la propulsión del buque.



2.2. TIPO DE MOTOR

Decidido ya el tipo de corriente es importante definir el tipo de máquina eléctrica que va a instalarse, motor síncrono o motor asíncrono.

Si bien los motores síncronos disponen de una clara superioridad en cuanto a exactitud en el control de la velocidad, esto no resulta suficientemente representativo frente a otras características como la mayor simpleza y menor coste de fabricación de los motores asíncronos.

Instalando variadores de frecuencia puede ajustarse la velocidad de los motores, permitiendo ajustar la velocidad de giro para cada situación.

Si bien los motores síncronos pueden resultar más atractivos en cuanto a sus características, los motores asíncronos ofrecen unas características muy similares, con rendimientos casi tan altos como los síncronos, a un precio notablemente menor.

Además, diferentes fabricantes recomiendan motores asíncronos para potencias inferiores a un megavatio como es el caso.

Por lo anteriormente expuesto se van a disponer motores asíncronos para la propulsión a bordo.

2.3. MOTOR PROPULSORES PRINCIPALES

Lo primero es conocer la potencia al freno (BHP) que deberán suministrar los motores propulsores.

Del cuaderno 6 conocemos la potencia entregada por las dos hélices DHP, que es:

$$DHP = \frac{EHP}{\eta_D} = \frac{548,74}{0,562} = 976,71 \text{ kW}$$

Luego la potencia entregada por cada hélice tendrá que ser:

$$DHP_{prop} = \frac{DHP}{2} = \frac{976,71}{2} = 488,4 \text{ kW}$$



Suponiendo un rendimiento mecánico de 0,96 debido tanto al eje como a la reductora incluida en el sistema acimutal tendremos una potencia al freno del motor:

$$BHP = \frac{DHP_{prop}}{\eta_m} = \frac{488,4}{0,96} = 508,75 \text{ kW}$$

El motor asíncrono a elegir tendrá que ser capaz de suministrar al menos 508,75 kW de forma continuada, sin embargo, hay que incluir una corrección adicional, debida al rendimiento interno del motor asíncrono, que suele estar entre un 93% y un 97%, como valor estimado se va a tomar 95%, luego el motor deberá suministrar para condiciones normales:

$$P = \frac{BHP}{\eta_{motor}} = \frac{508,75}{0,95} = 535,53 \text{ kW}$$

Por otra parte, tal y como ya se explicó en el cuaderno anterior, durante la condición de máxima velocidad de navegación, los propulsores principales deberán suministrar una potencia de al menos 600 kW para ayudar a la navegación en dicha situación, esto significará que la potencia al freno del motor deberá ser al menos de:

$$BHP_{max} = \frac{DHP_{prop} v_{max}}{\eta_m} = \frac{600}{0,96} = 625 \text{ kW}$$

Y teniendo en cuenta el rendimiento interno del motor asíncrono quedaría en:

$$P_{max} = \frac{BHP_{max}}{\eta_{motor}} = \frac{625}{0,95} = 657,9 \text{ kW}$$

Luego se buscará un motor cuya potencia nominal sea cercana a la potencia obtenida para condiciones normales $P = 535,53 \text{ kW}$ pero que sea capaz de suministrar también la potencia máxima $P_{max} = 657,9 \text{ kW}$.

Sabiendo que la potencia nominal dada en los catálogos de motores asíncronos suele



corresponderse con aproximadamente un 80% de la potencia máxima capaz de ofrecer el motor, tomando el valor de potencia P para velocidad normal obtenido anteriormente, como potencia nominal, la potencia máxima sería:

$$P_{max} = \frac{P_n}{0,8} = \frac{535,53}{0,8} = 669,41 \text{ kW} > 657,9 \text{ kW}$$

Luego este valor sería suficiente para los requerimientos del proyecto, el último valor a definir antes de entrar en el catálogo es el número de pares de polos del motor, este valor se tomará teniendo en cuenta la velocidad de entrada permitida por el propulsor acimutal, que de acuerdo a lo estipulado en el cuaderno 6 puede ser entre 750 rpm y 2.000 rpm.

Luego teniendo en cuenta que la velocidad de sincronismo viene dada, siendo f la frecuencia y p el número de pares de polos por:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

Aunque no se especifica en los requisitos del proyecto, se va a suponer el buque de pabellón europeo, es decir trabajando a una frecuencia de 50 Hz.

Los posibles valores serán 2,3 o 4 pares de polos, cuyos resultados son 1500 rpm, 1000 rpm o 750 rpm respectivamente, quedando descartado el modelo de un único par de polos, puesto que serían 3000 rpm, fuera de los límites aceptados por el propulsor acimutal, se tomarán tres pares de polos:

$$n_s = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ rpm}$$

Se procede ahora a buscar un motor dentro de los catálogos existentes que se adecúe a los datos y características calculadas.

Dentro del catálogo de motores asíncronos de baja tensión, perteneciente a la marca Siemens, se elegirá un motor de 6 polos cuya potencia nominal sea mayor de 535,53 kW.

Se decide instalar el modelo 1LA8 407-6AB de 400 V y 50 Hz que ofrece una potencia nominal



de 560 kW.

El rendimiento del motor, de acuerdo a las especificaciones es $\eta_{motor} = 96,7 \%$ a plena carga.

En este caso la potencia máxima del motor será de aproximadamente:

$$P_{max} = \frac{P_n}{0,8} = \frac{560}{0,8} = 700 \text{ kW}$$

Y la potencia máxima suministrada al eje:

$$BHP_{max} = P_{max} \cdot \eta_{motor} = 700 \cdot 0,967 = 676,9 \text{ kW}$$

Valor que resulta claramente superior a la potencia máxima requerida en el motor, calculada con anterioridad y que vale 657,9 kW.

Este motor por tanto ofrecería las siguientes condiciones de carga:

	Pot. mot. (kW)	Carga
V económica	526,11	75,16 %
V máxima	620,48	88,64 %

Tabla 1. Condiciones de carga, motor principal

La tabla de características del motor es:



Potencia nominal a 50 Hz	Potencia nominal a 60 Hz	Tamaño	Valores de servicio a potencia nominal	Clase eficiencia CEMEP	Rend. plena carga 50 Hz	Rend. a 3/4 de carga	Factor de potencia plena carga $\cos\varphi_N$	Corriente nominal 400V 50 Hz	Referencia (complementos del tipo en página 17)	Peso Forma constr. IM B3 aprox.
P_N kW	P_N kW		n_N min ⁻¹	M_N Nm	η_N %	$\eta_{3/4}$ %		I_N A		Kg
6 polos 1000 min ⁻¹ a 50 Hz 1200 min ⁻¹ a 60 Hz, clase F, utilización B, IP 55									N-COMPACT, fundición de hierro	
200	230	315	988	1930	95,7	95,8	0,86	345	1LA8 315-6AB□□▲	1300
250	288	315	988	2410	95,9	96,0	0,86	430	1LA8 317-6AB□□▲	1500
315	362	355	993	3040	96,2	96,2	0,86	540	1LA8 355-6AB□□▲	2000
400	460	355	993	3850	96,5	96,5	0,86	690	1LA8 357-6AB□□▲	2200
450	518	400	991	4330	96,5	96,5	0,86	780	1LA8 403-6AB□□▲	2800
500	575	400	991	4810	96,5	96,5	0,86	860	1LA8 405-6AB□□▲	3000
560	644	400	991	5390	96,7	96,7	0,86	960	1LA8 407-6AB□□▲	3200
630	725	450	993	6060	96,8	96,8	0,86	1100	1LA8 453-6AB□□▲	4000
710	817	450	993	6830	96,8	96,8	0,86	710 ¹⁾	1LA8 455-6AB□□▲	4200
800	920	450	993	7690	97,0	97,1	0,86	790 ¹⁾	1LA8 457-6AB□□▲	4500

Tabla 2. Características motor principal

2.4. MOTOR PROPULSOR SECUNDARIO

El proceso de diseño del motor propulsor secundario se va a realizar de igual manera que en el apartado anterior, pero con la potencia calculada para el SPJ, en el cuaderno 6, es decir:

$$DHP = 2202,86 \text{ kW}$$

Suponiendo un rendimiento mecánico de 0,98 debido tanto únicamente al eje entre el motor y la bomba, tendremos una potencia al freno del motor:

$$BHP = \frac{DHP}{\eta_m} = \frac{2202,86}{0,98} = 2247,82 \text{ kW}$$

El motor asíncrono a elegir tendrá que ser capaz de suministrar al menos 2271,55 kW de forma continuada, falta únicamente añadir la corrección por rendimiento interno del motor asíncrono, que se va a tomar en primera instancia como 95%, puesto que es un valor esperable en este tipo de motores:

$$P = \frac{BHP}{\eta_{motor}} = \frac{2247,82}{0,95} = 2366,13 \text{ kW}$$



Luego se buscará un motor síncrono cuya potencia nominal sea cercana a la potencia obtenida $P = 2366,13 \text{ kW}$, de tal forma que ofrezca al SPJ la potencia necesaria en condiciones normales, aunque en algún caso puntual pueda superar dicha potencia, sin embargo esto será algo excepcional debido a las características del propio sistema propulsor, que tal y como se estudió en el cuaderno 6 puede aceptar para casos de servicio intermitente a plena carga, que será su condición esperada de funcionamiento, hasta 2990 kW de potencia de entrada.

El último valor a definir antes de entrar en el catálogo es el número de pares de polos del motor, este valor se tomará teniendo en cuenta la velocidad de entrada recomendada por el fabricante del SPJ, que resulta 950 RPM, tal y como se expone en el cuaderno 6.

Se sabe que la velocidad de sincronismo viene dada, siendo f la frecuencia y p el número de pares de polos por:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

En este caso se toman tres pares de polos, puesto que es el valor cercano al que recomienda el fabricante, ligeramente superior:

$$n_s = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ rpm}$$

Se procede ahora a buscar un motor dentro de los catálogos existentes que se adecúe a los datos y características calculadas.

A fin de homogeneizar tanto como sea posible los equipos internos del buque se ha buscado un motor asíncrono de la marca Siemens, y se ha elegido el modelo H-Compact 1LA4 de 6 polos y 6,6 kV, que ofrece una potencia nominal de 2300 kW, es decir el mismo modelo que para los motores principales pero de mayores características, tanto dimensionales como de potencia.

El rendimiento del motor, de acuerdo a las especificaciones es $\eta_{motor} = 97,1 \%$ a plena carga y es $\eta_{motor} = 97,0 \%$ a $\frac{3}{4}$ de la carga, valor que se ajusta más a la realidad de nuestro buque, por ello para dar un BHP=2271,55 kW, el motor estará suministrando:



$$P_{motor} = \frac{BHP}{\eta_{motor}} = \frac{2247,82}{0,97} = 2317,34 \text{ kW}$$

De acuerdo a lo explicado con anterioridad, estimamos la potencia del motor a plena carga como:

$$P_{max} = \frac{P_n}{0,8} = \frac{2300}{0,8} = 2875 \text{ kW}$$

El motor elegido funciona a 6600 V, con lo que será necesario la instalación de un transformador entre este y la red primaria de distribución, que permita trabajar a la tensión necesaria.

La condición de carga de dicho motor será:

	Pot. mot. (kW)	Carga
V max	2317,34	80,60%

Tabla 3. Condiciones de carga, motor secundario

La tabla de características del motor es:



Rated power	High voltage motor H-compact	Speed	Rated current	Efficiency		Power factor		Torque	Break- down torque	Locked -rotor torque	Locked -rotor current	Moment of inertia	
IEC			I_{rated} 6 kV	at 4/4 load	3/4 load	4/4 load	3/4 load		T_B/T_{rated}	T_{LR}/T_{rated}	I_{LR}/I_{rated}	Motor	External, max. 1)
kW	Order No.	rpm	A	%	%	cos φ	cos φ	Nm	[-]	[-]	[-]	kgm ²	kgm ²
2.0 ... 6.6 kV, 50 Hz													
6-pole													
236	1LA4 314-6AN	986	29.5	94.1	94.5	0.82	0.78	2286	2.50	1.25	5.3	5.3	375
270	1LA4 316-6AN	985	33.5	94.3	94.8	0.82	0.80	2617	2.40	1.25	5.5	6.4	431
315	1LA4 350-6AN	989	39.0	94.8	95.1	0.82	0.79	3041	2.30	1.10	5.3	10.8	541
365	1LA4 352-6AN	989	44.5	95.1	95.4	0.83	0.80	3524	2.20	1.10	5.3	12.7	667
425	1LA4 354-6AN	990	52.0	95.3	95.5	0.82	0.79	4099	2.40	1.25	5.5	15.0	841
490	1LA4 400-6AN	991	59.0	95.4	95.6	0.84	0.81	4722	2.30	1.05	5.5	21.2	740
570	1LA4 402-6AN	992	68.0	95.7	95.9	0.84	0.81	5487	2.30	1.10	5.5	24.2	1193
630	1LA4 404-6AN	991	77.0	95.8	95.9	0.82	0.80	6071	2.40	1.20	5.5	27.3	1233
700	1LA4 450-6AN	992	84.0	95.8	95.9	0.84	0.81	6738	2.30	1.10	5.4	33.0	1417
800	1LA4 454-6AN	993	94.0	96.0	96.1	0.85	0.82	7693	2.30	1.10	5.4	41.0	1789
1000	1LA4 500-6CN	994	114.0	96.5	96.6	0.87	0.85	9607	2.20	0.75	5.5	82.0	1668
1120	1LA4 502-6CN	994	126.0	96.6	96.7	0.88	0.86	10759	2.20	0.75	5.5	92.0	1858
1250	1LA4 504-6CN	994	142.0	96.8	96.9	0.88	0.86	12008	2.20	0.75	5.5	102.0	2048
1400	1LA4 560-6CN	995	160.0	96.9	96.9	0.87	0.85	13436	2.35	0.65	5.5	138.0	2105
1650	1LA4 562-6CN	995	188.0	97.0	97.1	0.87	0.85	15835	2.35	0.65	5.5	158.0	2470
1850	1LA4 564-6CN	995	210.0	97.1	97.2	0.88	0.86	17754	2.35	0.65	5.5	183.0	2890
2050 ²⁾	1LA4 632-6CN	995	230.0	97.0	96.8	0.89	0.87	19676	2.3	0.50	5.5	269.1	2230
2300 ²⁾	1LA4 634-6CN	995	255.0	97.1	97.0	0.90	0.88	22075	2.3	0.50	5.5	297.4	2450
2500 ²⁾	1LA4 636-6CN	995	275.0	97.2	97.1	0.90	0.88	23995	2.3	0.50	5.5	323.0	2680

Tabla 4. Características motor secundario

2.5. MOTOR PROPULSORES TRANSVERSALES

Tal y como se definió en el cuaderno 6, la potencia al freno que debe entregar cada motor de cada hélice de proa es 1000 kW, y las velocidades de entrada que aceptan son 1000 o 1200 RPM, luego en este caso se va a elegir, del mismo catálogo y tipo de motor, de 6 polos, concretamente el modelo 1LA4 500-6CN de 6 polos trabajando a 6,6 kV y 50 Hz, que ofrece una potencia nominal de 1000 kW a 994 RPM.

El rendimiento del motor, de acuerdo a las especificaciones es a plena carga y a $\frac{3}{4}$ de la carga $\eta_{motor} = 96,6 \%$, por ello para dar un BHP = 1000 kW, el motor estará suministrando:

$$P_{motor} = \frac{BHP}{\eta_{motor}} = \frac{1000}{0,966} = 1035,2 \text{ kW}$$

De acuerdo a lo explicado con anterioridad, estimamos la potencia del motor a plena carga



como:

$$P_{max} = \frac{P_n}{0,8} = \frac{1000}{0,8} = 1250 \text{ kW}$$

Y entonces la condición de carga de dicho motor será:

	Pot. mot. (kW)	Carga
V max	1000	80 %

Tabla 5. Condición de carga operacional, motor transversal

La tabla de características del motor es:

Rated power	High voltage motor H-compact	Speed	Rated current	Efficiency		Power factor		Torque	Break- down torque	Locked -rotor torque	Locked -rotor current	Moment of inertia	
IEC			I_{rated} 6 kV	at 4/4 load	3/4 load	4/4 load	3/4 load		$T_B /$ T_{rated}	$T_{LR} /$ T_{rated}	$I_{LR} /$ I_{rated}	Motor	External, max.
kW	Order No.	rpm	A	%	%	cos φ	cos φ	Nm	[-]	[-]	[-]	kgm ²	kgm ²
2.0 ... 6.6 kV, 50 Hz													
6-pole													
236	1LA4 314-6AN	986	29.5	94.1	94.5	0.82	0.78	2286	2.50	1.25	5.3	5.3	375
270	1LA4 316-6AN	985	33.5	94.3	94.8	0.82	0.80	2617	2.40	1.25	5.5	6.4	431
315	1LA4 350-6AN	989	39.0	94.8	95.1	0.82	0.79	3041	2.30	1.10	5.3	10.8	541
365	1LA4 352-6AN	989	44.5	95.1	95.4	0.83	0.80	3524	2.20	1.10	5.3	12.7	667
425	1LA4 354-6AN	990	52.0	95.3	95.5	0.82	0.79	4099	2.40	1.25	5.5	15.0	841
490	1LA4 400-6AN	991	59.0	95.4	95.6	0.84	0.81	4722	2.30	1.05	5.5	21.2	740
570	1LA4 402-6AN	992	68.0	95.7	95.9	0.84	0.81	5487	2.30	1.10	5.5	24.2	1193
630	1LA4 404-6AN	991	77.0	95.8	95.9	0.82	0.80	6071	2.40	1.20	5.5	27.3	1233
700	1LA4 450-6AN	992	84.0	95.8	95.9	0.84	0.81	6738	2.30	1.10	5.4	33.0	1417
800	1LA4 454-6AN	993	94.0	96.0	96.1	0.85	0.82	7693	2.30	1.10	5.4	41.0	1789
1000	1LA4 500-6CN	994	114.0	96.5	96.6	0.87	0.85	9607	2.20	0.75	5.5	82.0	1668
1120	1LA4 502-6CN	994	126.0	96.6	96.7	0.88	0.86	10759	2.20	0.75	5.5	92.0	1858
1250	1LA4 504-6CN	994	142.0	96.8	96.9	0.88	0.86	12008	2.20	0.75	5.5	102.0	2048
1400	1LA4 560-6CN	995	160.0	96.9	96.9	0.87	0.85	13436	2.35	0.65	5.5	138.0	2105
1650	1LA4 562-6CN	995	188.0	97.0	97.1	0.87	0.85	15835	2.35	0.65	5.5	158.0	2470

Tabla 6. Características motor transversal

3. CÁMARA DE MÁQUINAS Y PLANTA PROPULSORA

En este apartado se estudiarán y definirán los diferentes grupos electrógenos a bordo, tanto los principales como el de emergencia.

3.1. GENERADORES PRINCIPALES

Los grupos generadores principales tendrán que ser capaz de suministrar energía eléctrica suficiente para cada uno de los diferentes escenarios a los que se prevea que el buque pueda hacer frente, tal y como se estudia en el cuaderno 9, y en función de ello se tomará una decisión de instalación.

Además por normativa llevará un grupo de reserva, de tal manera que pueda navegar a velocidad de diseño (velocidad económica) con todos los equipos necesarios conectados y dicho grupo generador de reserva desconectado.

Tras un estudio del consumo eléctrico, realizado en el cuaderno 9, se ha decidido instalar un total de seis grupos generadores principales, de esta manera se dotará de una mayor versatilidad al buque, permitiendo una carga de operación lógica en todas las situaciones, además de evitar en caso de fallo de alguno de los generadores, la pérdida de eficiencia durante la navegación normal o labores oceanográficas.

Se ha elegido el modelo Caterpillar C 32, de 800 ekW (1000 kVA) que trabaja a 400 V y 50Hz, con una velocidad de 1.500 rpm.



Ilustración 1. Generador principal, Caterpillar C32

Los resultados de consumos obtenidos en el cuaderno 9 son los siguientes, para las diferentes condiciones de carga estudiadas:

Resumen cargas					
Situación	Velocidad económica	Velocidad máxima	Esc. oceanográfico	Puerto	Emergencia
P (kW)	1912,22	4678,62	2274,42	627,10	502,98
S (kVA)	2290,86	5409,36	2697,86	783,88	628,73

Tabla 7. Resumen consumo potencia, diferentes escenarios



Se van a emplear generadores principales para al menos las tres primeras situaciones, de tal manera que resultase el número de generadores y régimen de trabajo recogido en la siguiente tabla:

Resumen cargas			
Situación	Velocidad económica	Velocidad máxima	Esc. oceanográfico
Potencia real (kW)	1912,22	4678,62	2274,42
Potencia aparente (kVA)	2290,86	5409,36	2697,86
Tipo generador	Principal (C32)	Principal (C32)	Principal (C32)
nº generadores	3	6	3
Potencia generada (kVA)	3000	6000	3000
Régimen	76,4%	90,2%	89,9%

Tabla 8. Resumen cargas, diferentes escenarios

Nótese que a velocidad máxima el régimen MCR de los generadores principales resulta del 90,2%, estando especificado como requisitos de proyecto el funcionamiento al 90%, cumpliendo por tanto este requisito, puesto que en estas estimaciones se puede aceptar un error de 0,2% com válido.

3.2. GENERADOR DE PUERTO

La función del generador de puerto es suministrar la potencia necesaria al buque durante su estancia en puerto, es decir muchos sistemas importantes, tales como la propulsión están desactivados.

Esta condición se estudia en el cuaderno 9, y se adjunta en la tabla a continuación los consumos obtenidos, por lo que se aprovechará como se puede ver uno de los grupos generadores principales como generador de puerto, quedando un régimen de trabajo del generador aceptable.

Resumen carga	
Situación	Puerto
Potencia real (kW)	627,10
Potencia aparente (kVA)	783,88
Tipo generador	Principal (C32)
nº generadores	1
Potencia generada (kVA)	1000
Régimen	78,4%

Tabla 9. Resumen carga, situación de puerto

3.3. GENERADOR DE EMERGENCIA

El grupo generador de emergencia tiene que ser capaz de suministrar potencia eléctrica suficiente para asegurar el gobierno del buque con los servicios mínimos, los cálculos se detallan en el cuaderno 9.

Para asegurar que este grupo de emergencia pueda funcionar en cualquier condición del buque, como por ejemplo durante un naufragio, se situará tan alejado de la flotación como sea posible, en este caso se situará por encima de la cubierta de puente, siendo ese el punto más alto del buque.

Se ha elegido el modelo Caterpillar C 18, de 560 ekW (700 kVA) que trabaja a 400 V y 50Hz, con una velocidad de 1.500 rpm.

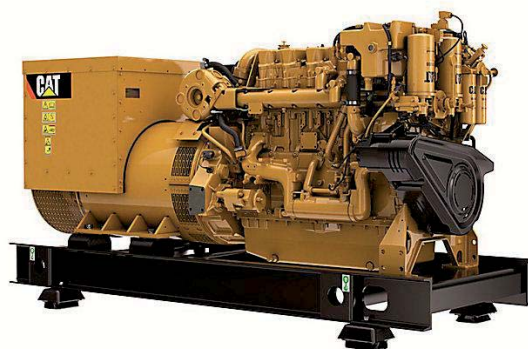


Ilustración 2. Generador de emergencia, Caterpillar C18

La carga de trabajo será, de acuerdo a lo estimado en el cuaderno 9:

Resumen carga	
Situación	Puerto
Potencia real (kW)	502,98
Potencia aparente (kVA)	628,73
Tipo generador	<i>Emergencia (C18)</i>
nº generadores	1
Potencia generada (kVA)	700
Régimen	89,8%

Tabla 10. Resumen carga, situación de emergencia



4. EQUIPOS Y SERVICIOS DE LA CÁMARA DE MÁQUINAS

Se va a proceder a la definición y estudio de los diferentes sistemas y equipos auxiliares incluidos en la cámara de máquinas calculando cuando fuese necesario bombas, potencia consumida o distribución, entre otras cosas.

4.1. SERVICIO DE COMBUSTIBLE

En servicio de combustible se incluyen tanto el tipo de combustible y su almacenaje como las bombas y sistemas auxiliares del mismo.

4.1.1. TIPO DE COMBUSTIBLE

Se va a emplear marine diesel oil del tipo DMB, el cual está recomendado para su uso en buques.

Las características de este combustible se definen en la tabla siguiente:

CHARACTERISTICS	TECHNICAL CONDITIONS	ANALYSIS METHOD	
		ISO	ASTM
Density at 15 °C, kg/m ³ max.	880	3675	D 1298 / 85
Viscosity at 40 °C - mm ² / s, max.	6-11	3104	D 445 / 96
Cetanic index, min.	50	4264	D 976-91
Flash point, °C, min.	60	2719	D93- 97
Sulphur, %, (m/m), max.	0,4	8754	D 4294 / 90
Water, % (v/v), max	0,3	3733	D 1744
Total sediment % (m/m), max.	0,1	10307-2	-
Aspect	clear	visual	visual
Pour point, °C - winter max. - summer max.	0 6	3016	D97-96
Ash content, % , max.	0,01	6245	D 482/95
Carbon residuum, % (m/m), (in 10% distilled residuum) max.	0,1	6615	D 189 / 97
Total acidity number (TAN), mg KOH/g max.	0,5	6618	D 974-97
Low calorific power kcal/kg min.	9800	8217	-

Tabla 11. Características combustible MDO DMB



4.1.2. TANQUES DE COMBUSTIBLE

Los tanques de combustible han quedado definidos en el cuaderno 4.

A continuación se muestra un resumen de los diferentes tanques de combustible instalados a bordo y sus capacidades.

Tanque	Volumen (m ³)
MDO Popa	130.70
MDO Pp Br	135.61
MDO Pp Er	135.61
MDO CCMM Br	37.79
MDO CCMM Med	65.81
MDO CCMM Er	40.05
MDO Br	185.55
MDO Er	185.55
MDO Proa	85.14
MDO diario Br	20.25
MDO diario Er	20.25
MDO Med	20.45

Tabla 12. Volumen tanques combustible

4.1.3. SISTEMA DE TRASIEGO DE COMBUSTIBLE

Para todo el sistema de trasiego, se evitará que la velocidad del fluido en las tuberías sea superior a 2 m/s según las recomendaciones de la sociedad de clasificación.

Se instalarán dos bombas de trasiego, para llevar el MDO desde los tanques de almacenaje hasta los tanques de servicio diario.

El caudal de las bombas de trasiego de combustible será como mínimo suficiente para asegurar la más restrictiva de las siguientes operaciones:

- Trasiego de todo el combustible del tanque almacén más grande a otro en menos de 12 horas entre las dos bombas trabajando simultáneamente.

Se tomará el valor del tanque almacén de babor, de capacidad 185,55 m³; para trasegarlo al tanque almacén de estribor o babor en 12 horas, entre las dos bombas:

$$Q = \frac{185,55}{2 \cdot 12} = 7,73 \frac{m^3}{h}$$



b) Llenado de un tanque de servicio diario en 4 horas, por una única bomba.

Como solo está trabajando una bomba, y cada tanque de servicio diario del generador principal tiene un volumen de $11,66 \text{ m}^3$, se tendrá un caudal de:

$$Q = \frac{20,25}{4} = 5,1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

c) Caudal mínimo de 10 veces el consumo de los generadores principales.

Se va a tener en cuenta para este caso el consumo durante velocidad económica, correspondiente a tres grupos generadores, cuyos consumos unitarios son $0,167 \text{ m}^3/\text{h}$, con que:

$$Q = 10 \cdot 3 \cdot 0,167 = 5,01 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Se tomará por tanto el valor de caudal mayor de estos tres calculados, que resulta ser:

$$Q_{\text{bomba trasiego}} = 7,73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Bomba de trasiego de MDO		
Marca	EBARA	-
Modelo	CMB 2.00 T	-
Nº de bombas	2	-
Caudal	8.4	m^3/h
Presión	2.43	bar
Rendimiento	0.6	-
Potencia	0.93	kW
Peso	176	kg

Tabla 13. Bomba trasiego MDO



4.1.4. SISTEMA DE PURIFICACIÓN DEL COMBUSTIBLE

El combustible tipo Marine Diesel Oil no necesita otro tratamiento para ser enviado a los motores más que, un filtrado final. Sin embargo, es recomendable una instalación de centrifugado para la eliminación de los posibles contenidos de agua.

- Filtro

El filtro a instalar será tipo dúplex, con una rejilla de 0,5 micras y separador ciclónico, para evitar la entrada de aire así como de posibles impurezas o partículas en suspensión que puedan dañar el sistema.

- Purificadoras

Se van a disponer dos purificadoras de combustible, siendo una de ellas de respeto. Adicionalmente la purificadora de respeto podrá emplearse en caso de necesidad como purificadora de aceite, si fallase la purificadora de este.

La función de las purificadoras o separadoras es separar el agua y las impurezas que haya en el combustible o aceite del fluido.

Se van a diseñar de tal manera que funcionen en tres periodos de tiempo:

- 10 horas de separación con la purificadora
- 10 horas de decantación
- 4 horas de descanso y arreglo de posibles imprevistos

Por ello, aunque sean 24 horas de periodo entre el comienzo de dos usos diferentes, se considerará el combustible para 10 horas, ya que será el tiempo en que necesite un cierto caudal.

Por ello, el caudal mínimo del dispositivo será el necesario para trasegar un tanque diario de combustible, en 10 horas. Se va a añadir un margen de seguridad del 15%.

$$Q_{separadora} = 1,15 \cdot \frac{20,25}{10} = 2,33 \frac{m^3}{h}$$



Se ha elegido un modelo de Alfa Laval capaz de purificar tanto combustible como aceite.

Su caudal puede variar desde 0,8 m³/h hasta 2,4 m³/h.

Purificadora de MDO		
Marca	Alfa Laval	-
Modelo	MMB 304	-
Nº de purificadoras	2	-
Caudal	1.4	m ³ /h
Potencia	1.40	kW
Peso	251	kg

Tabla 14. Purificadora MDO

4.1.5. BOMBA DE LODOS

La bomba de lodos se diseñar para vaciar el tanque de lodos en un tiempo máximo de 2 horas. Dicho tanque almacenará los lodos e impurezas extraídos por las separadoras definidas en el apartado anterior.

El volumen del tanque de lodos se define en el cuaderno 4 y son 2,9 m³.

$$Q_{bomba\ lodos} = \frac{2,9}{2} = 1,45 \frac{m^3}{h}$$

Bomba de lodos		
Marca	EBARA	-
Modelo	CMA 1.00 T	-
Nº de bombas	1	-
Caudal	2.4	m ³ /h
Presión	3.28	bar
Rendimiento	0.6	-
Potencia	0.36	kW
Peso	174	kg

Tabla 15. Bomba de lodos



4.1.6. SERVICIO DE ALIMENTACIÓN DEL COMBUSTIBLE

Los grupos electrógenos C32 de Caterpillar ya incluyen una bomba de alimentación interna cada uno.

Aunque podría diseñarse una bomba auxiliar externa de respeto por si fallase la de alguno de los grupos, debido al alto número instalado de dichos generadores se ha considerado innecesario.

4.2. SERVICIO DE ACEITE

El servicio de aceite incluye, además del tipo de aceite a emplear, la información de los diferentes volúmenes a bordo, los elementos auxiliares del sistema y aquellas bombas que fuesen necesarias para su correcto funcionamiento.

4.2.1. TIPO DE ACEITE

Para elegir el tipo de aceite se tendrá en cuenta el tipo de combustible que usa el buque, ya que de eso dependerá qué valor del TBN "*Total Base Number*" debe elegir, dicho número es un indicador de la capacidad neutralizadora de compuestos sulfurosos producidos durante la combustión del combustible.

Para sistemas de marine diesel oil, suelen escogerse aceites cuyo TBN esté comprendido entre 10 y 30.

El aceite deberá cumplir las especificaciones API CG-4 ó API CF-4, siendo el aceite recomendado por Caterpillar, para los motores seleccionados: Aceite SAE15W40, y será por tanto el que se elija finalmente.

4.2.2. TANQUE ALMACÉN

El tanque de aceite de lubricación se detalla en el cuaderno 4, y resulta un volumen total de 1,44 m³.



4.2.3. ACEITE SUCIO

El tanque de aceite sucio se define también en el cuaderno 4, y su volumen es de $1,44\text{m}^3$.

4.2.4. LODOS

De acuerdo al cuaderno 4, el volumen de este tanque es de $2,9\text{ m}^3$.

4.2.5. BOMBA DE ACEITE

Se van a disponer dos bombas de aceite, una de ellas de respeto. Se utilizarán tanto para el trasiego del aceite de los tanques almacén hasta los motores como del cárter de estos al tanque de aceite sucio.

Aprovechando que se tienen dos bombas una se usará para las labores de alimentación y la otra para las de achique, a fin de no introducir restos de aceite sucio en los motores, sin embargo en caso de necesidad una actuará de respeto de la otra.

Teniendo en cuenta que el rellenado completo de un generador principal son 99 litros, es decir $0,099\text{ m}^3$ se va a diseñar una bomba de caudal $1\text{ m}^3/\text{h}$, lo que significa que en 10 minutos se podría trasegar el aceite necesario para un grupo generador.

Bomba de aceite		
Marca	EBARA	-
Modelo	CD(X)(L) 90/10	-
Nº de bombas	2	-
Caudal	1.2	m^3/h
Presión	3.03	bar
Rendimiento	0.4	-
Potencia	0.25	kW
Peso	173	kg

Tabla 16. Bomba de aceite



4.2.6. BOMBA DE PRELUBRICACIÓN

La bomba de pre lubricación tiene por función la alimentación del circuito de lubricación del motor así como de la lubricación previa al arranque.

Si bien el fabricante especifica que este tipo de bombas no son requeridas para los Caterpillar C32, sí que son recomendables.

Se recomienda tener en cuenta los siguientes factores:

- Instalación de una válvula de control en la bomba fuera del motor.
- Instalación de válvulas bidireccionales cerca del motor en la entrada y salida del mismo hacia la bomba de aceite.
- No activar el sistema de prelubricación si el motor está funcionando.

El fabricante recomienda el uso de una bomba de prelubricación Caterpillar modelo 6N-5599, que ofrece un caudal de 49 litros por minuto, es decir $2,94 \text{ m}^3/\text{h}$.

Se van a instalar dos, una por local de cámara de máquinas.

Bomba de prelubricación		
Marca	EBARA	-
Modelo	CD 70/12	-
Nº de bombas	2	-
Caudal	3	m^3/h
Presión	3.12	bar
Rendimiento	0.6	-
Potencia	0.43	kW
Peso	174	kg

Tabla 17. Bomba de prelubricación

4.2.7. PRECALENTADOR DE ACEITE

Se van a disponer dos precalentadores de aceite, siendo uno de ellos de respeto.

La función del precalentador de aceite será elevar la temperatura del aceite del cárter, que se va a suponer de 55°C hasta los 90°C , antes de introducirlo en la purificadora de aceite, a esta temperatura lógica para realizar la separación.



La potencia de cada calentador, teniendo en cuenta un margen del 20 % se calcula como:

$$P = Q \cdot \rho_{aceite} \cdot C_{aceite} \cdot \Delta T \cdot 1,2$$

Donde ρ_{aceite} es la densidad del aceite: 870 kg/m^3 ; C_{aceite} es la capacidad térmica del aceite: $2 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$ y la diferencia de temperatura $90-55 = 35 \text{ }^\circ\text{C}$, y Q la capacidad de la purificadora de aceite, calculada en el apartado 4.2.9, luego:

$$P = 1,8 \cdot 870 \cdot 2 \cdot 1,2 = 3,76 \text{ kW}$$

4.2.8. FILTROS DE ACEITE

Se dispondrán los filtros del sistema de aceite de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, siendo estas:

- Filtros tipo spin-on de alta eficiencia dobles, con una válvula de desvío que permita seguir usando el motor mientras se cambia el filtro.
- Filtro de rejillas de 5 micras.

4.2.9. PURIFICADORA DE ACEITE

La purificadora de aceite tiene se calcula teniendo en cuenta el volumen de aceite de los motores funcionando en velocidad de servicio, que van a ser 3 y el número de renovaciones del aceite del cárter al día, que se tomará como 5 veces.

Se añadirá además un margen del 20% al resultado, con que:

$$Q_{purif\ aceite} = V_{aceite} \cdot n^\circ \text{ de motores} \cdot n^\circ \text{ renovaciones} \cdot \text{margen}$$

$$Q_{purif\ aceite} = 0,099 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 1.2 = 1,8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$



Se va a tomar el mismo modelo que para las purificadoras de combustible:

Purificadora de aceite		
Marca	Alfa Laval	-
Modelo	MMB 304	-
Nº de purificadoras	1	-
Caudal	1.8	m ³ /h
Potencia	1.40	kW
Peso	251	kg

Tabla 18. Purificadora de aceite

4.2.10. BOMBA DE LUBRICACIÓN PRINCIPAL

La bomba de lubricación principal se incluye dentro del motor suministrado por el fabricante, y su consumo de potencia ya se ha deducido del total. No resulta necesario disponer de una bomba de respeto auxiliar para este sistema, ya que en caso de fallo del sistema, debido al elevado número de grupos generadores a bordo (seis), en caso de fallo de uno de ellos se puede conectar otro, pues para velocidad económica es suficiente con dos de ellos funcionando al mismo tiempo.

4.3. SERVICIO DE REFRIGERACIÓN

Para refrigerar los sistemas principales del buque se va a disponer de un colector de mar por el que fluye agua salada, la cual es recogida mediante bombas a través de una toma de mar.

Los diferentes sistemas a refrigerar serán refrigerados mediante circuitos cerrados de agua dulce, cada uno de los cuales es refrigerado mediante intercambiadores de calor dispuestos a lo largo del colector de agua salada.

Este tipo de sistema se conoce como no centralizado, y sus ventajas más importantes son, el menor coste de instalación, la mayor versatilidad y la mayor fiabilidad. El mayor problema podría darse en el colector de mar, por el que fluye un gran caudal de agua salada, por ello debe revisarse con cierta frecuencia e instalar los medios necesarios para evitar la corrosión del mismo.



4.3.1. CIRCUITO DE AGUA SALADA

- Tomas de mar

El buque va a incorporar cuatro tomas de mar, bajo la cámara de máquinas y en los costados, dos adyacentes al mamparo de popa del local y las otras dos adyacentes al de proa.

Estos colectores de mar dispondrán de una rejilla para evitar el acceso de elementos indeseados, así como protección contra la corrosión del tipo ánodos de zinc.

Las tomas de mar de popa de la cámara de máquinas se emplearán para los servicios de refrigeración, mientras que las tomas de mar de proa de la cámara de máquinas se usarán para el sistema contra incendios, planta potabilizadora y laboratorios si fuese necesario en algún caso.

- Colector de mar

Después de las tomas de mar, y separados por un filtro se encuentran los colectores de mar, consistentes en una tubería o conducto que se empleará para, en el caso del sistema de refrigeración llevar el agua que refrigerará los distintos circuitos de agua dulce.

En el caso de los colectores de las tomas de mar de proa será de donde se aspire el agua para los diferentes sistemas explicados tales como el sistema contra incendios o la planta potabilizadora.

- Circuito de refrigeración

Se han evaluado diferentes alternativas de refrigeración del circuito, de tal manera que puedan refrigerarse todos los sistemas a partir de diferentes intercambiadores de calor en el colector de mar.

El sistema de refrigeración principal va a disponer el agua del colector de mar, el cual se alimenta de las dos tomas de mar situadas en los extremos de popa de la cámara de máquinas, en los costados.

Los elementos que van a refrigerarse con este circuito serán los circuitos de agua dulce para refrigerar:

- Grupos electrógenos del buque
- Motores propulsores principales



- Motor propulsor secundario

Dado que se dispone de una cámara de máquinas dividida en dos locales diferentes, se va a disponer de dos sistemas idénticos de refrigeración, de tal manera que cada sistema se encargará de refrigerar hasta tres generadores principales, un motor de propulsor principal y la mitad del motor propulsor secundario, esto se ha decidido así para no sobredimensionar uno de los sistemas ni tener que diseñar e instalar uno adicional.

Se ha decidido incluir en el anexo 2 el diagrama de funcionamiento del sistema de refrigeración completo, cuya lectura se recomienda de forma simultánea a este apartado y el siguiente correspondiente a los circuitos de agua dulce de refrigeración, dado que resulta algo particular y el esquema de funcionamiento complementa la información necesaria para comprenderlo.

Se va a suponer que el agua de mar se toma como máximo a 32º C, valor máximo registrado en el último año de la temperatura superficial del agua marina. Como temperatura de salida se tomará 38º C, a fin de no alterar altamente el medio marino.

Tendremos pues un salto térmico de 6º C en el circuito de agua salada.

a) Navegación a velocidad máxima

El circuito se va a diseñar de tal manera que pueda refrigerar en las condiciones de carga más extrema, es decir, con la temperatura de agua marina más elevada (32 ºC) y el buque funcionando a velocidad máxima, esto es con los seis generadores funcionando, así como los dos motores propulsores principales a una potencia superior a la económica, es decir 600 kW cada uno y casi 2200 kW el motor propulsor secundario.

Para el cálculo se estudiará solo una línea de refrigeración, por resultar la otra simétrica.

Cada línea, como ya se ha explicado tendrá que refrigerar entonces en este caso:

- 3 generadores principales
- 1 motor propulsor principal
- La mitad del motor propulsor

Sabiendo que la expresión que relaciona la temperatura y la energía disipada con el caudal es:

$$Q = \frac{E_{disipar}}{\rho_{agua\ mar} \cdot C_{agua\ mar} \cdot \Delta T}$$



Conociendo los valores de la densidad y calor específico del agua marina:

$$\rho_{agua\ mar} = 1025 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{agua\ mar} = 3,98 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

Falta ahora conocer los valores de energía del sistema.

En el caso de los generadores principales será la suma de la energía a disipar por el circuito de baja temperatura, referido al aire de admisión, que de acuerdo a lo especificado por el fabricante son 148 kW, más la energía a disipar por el circuito de alta temperatura, que refrigera el aceite y el bloque del motor, y según el fabricante serán 300 kW.

Cabe destacar en este punto, que existe una modalidad en este tipo de grupos generadores ofrecida por el fabricante, consistente en la refrigeración combinada, de tal forma que en vez de un circuito de baja y uno de alta se tiene un único circuito de refrigeración para el motor combinado, de tal manera que es un circuito interno del propio grupo generador el que gestiona la refrigeración interna. Se va a escoger este sistema de refrigeración combinada para los grupos generadores, la energía a disipar es en cualquier caso la suma de ambos circuitos convencionales.

Por lo tanto cada grupo electrógeno necesitará disipar un total de 458 kW, que habrá que multiplicar por tres, puesto que es el número de grupos por línea de refrigeración total, es decir: 1374 kW.

Para el cálculo de energía a disipar en los motores eléctricos, dado que el fabricante no lo especifica, se va a estimar como función del rendimiento del motor y la potencia nominal del mismo:

$$E_{d\ motor\ eléctrico} = (1 - \eta_{nominal\ motor}) \cdot P_{motor}$$

Que en el caso del motor principal resulta:

$$E_{d\ motor\ principal} = (1 - 0,967) \cdot 560 = 18,5\ kW$$



Finalmente, usando el mismo procedimiento va a estimarse la energía a disipar por el motor secundario, teniendo en cuenta que el circuito destinado a tal fin se divide en dos, con que deberá hacerse frente a la mitad de la energía disipada en cada línea de refrigeración de agua salada, luego:

$$E_{d \text{ motor secundario}} = \frac{(1 - 0,97) \cdot 2300}{2} = 34,5 \text{ kW}$$

Con todo esto se puede estimar el caudal mínimo necesario a suministrar en la línea para esta situación, de la siguiente manera:

$$Q = \frac{\sum E_{disipar}}{\rho_{agua \text{ mar}} \cdot C_{agua \text{ mar}} \cdot \Delta T} = \frac{1374 + 18,5 + 34,5}{1025 \cdot 3,98 \cdot (38 - 32)} = 0,059 \frac{m^3}{s}$$
$$Q = 212,4 \frac{m^3}{h}$$

b) Navegación a velocidad de servicio

Durante la navegación económica, que será el modo más común de navegación del presente buque, el caudal necesario para la refrigeración puede variar, por ello se van a estudiar sus valores.

La energía a disipar en este caso será, en total:

- 3 generadores principales
- 2 motores propulsores principales

Para dar mayor versatilidad al buque se va a estudiar el caudal necesario para refrigerar, además del motor de propulsión principal de cada línea, los generadores principales, de forma que los caudales puedan operarse de forma independiente, esto es, cada ramal de la línea que pase por un generador dispondrá de su propia bomba, así se puede asegurar que cualesquiera que sean los grupos electrógenos a emplear se mantengan suficientemente refrigerados.

Los valores de los elementos se han calculado en el punto anterior, resultando:

$$E_{d \text{ generador}} = 458 \text{ kW}$$

$$E_{d \text{ motor eléctrico}} = 18,5 \text{ kW}$$



Luego:

$$Q = \frac{\sum E_{disipar}}{\rho_{agua\ mar} \cdot C_{agua\ mar} \cdot \Delta T} = \frac{458 + 18,5}{1025 \cdot 3,98 \cdot 6} = 0,02 \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 72 \frac{m^3}{h}$$

Se va a instalar una bomba de al menos 72 m³/h en cada línea de generador, de tal manera que se pueda elegir el grupo electrógeno que se quiera para el funcionamiento normal.

Además, para la condición de velocidad máxima, con los tres generadores en funcionamiento por línea de refrigeración se conseguiría, mediante el empleo de estas tres bombas en paralelo un caudal de por lo menos 216 m³/h, lo cual es suficiente para dicha condición, ergo esta disposición serviría para las diferentes condiciones de servicio del buque estudiadas, ofreciendo una versatilidad notable al sistema.

Se va a añadir una bomba de respeto por línea de igual características, de tal manera que si fallase la bomba correspondiente a uno de los grupos electrógenos, pudiese usarse esta en sustitución.

Bomba refrigeración agua salada		
Marca	EBARA	-
Modelo	80-250	-
Nº de bombas	8	-
Caudal	80	m ³ /h
Presión	2	bar
Rendimiento	0.65	-
Potencia	6.71	kW
Peso	199	kg

Tabla 19. Bomba de refrigeración agua salada

4.3.2. CIRCUITO DE AGUA DULCE

Se van a instalar, por partida doble, es decir referido a una única línea de refrigeración de agua salada, los siguientes circuitos de agua dulce:

- Circuito de un motor principal
- Circuito de la mitad del motor secundario
- Circuitos de refrigeración combinado de los grupos generadores



La energía a disipar en este caso ya la conocemos, del apartado anterior.

Tenemos que conocer entonces los saltos de temperatura de los diferentes sistemas, que en algún caso son dato, y en otro se estimará de forma empírica en base a otros elementos reales de similares características.

En el caso de los generadores principales, de acuerdo a las especificaciones del fabricante se conocen las temperaturas de entrada y salida, siendo:

- Temperatura de entrada (T_e Gen.): 52 °C
- Temperatura de salida (T_s Gen.): 81 °C

Con lo que el caudal del circuito de agua dulce de cada grupo electrógeno generador principal será:

$$Q = \frac{E_{disipar}}{\rho_{agua\ dulce} \cdot C_{agua\ dulce} \cdot \Delta T} = \frac{458}{1000 \cdot 4,18 \cdot (81 - 52)} = 0,0038 \frac{m^3}{s}$$
$$Q = 13,6 \frac{m^3}{h}$$

Si bien es cierto que el propio grupo generador incorpora una bomba con una capacidad de al menos la calculada, alimentada por el propio generador (la potencia consumida por la misma ya está descontada de la potencia generada por el grupo), se va a instalar una bomba de respeto con esta capacidad por cada local de la sala de máquinas, es decir dos en total.

Nótese que estas dos bombas no se han incluido en el diagrama de funcionamiento, para no sobrecargar el mismo, sin embargo sí que se incluyen en la cámara de máquinas.

Bomba refrigeración agua dulce generadores		
Marca	EBARA	-
Modelo	CD(X)(L) 200/25	-
Nº de bombas	2	-
Caudal	15	m ³ /h
Presión	2.8	bar
Rendimiento	0.6	-
Potencia	1.91	kW
Peso	178	kg

Tabla 20. Bomba de refrigeración agua dulce generadores



El siguiente sistema a diseñar es la refrigeración del motor principal.

El salto térmico del conjunto motor, de acuerdo a lo observado en catálogos de fabricantes de motores eléctricos asíncronos con similares características, se encuentra entre 8º C y 10º C, se tomará un valor intermedio de 9º C, con lo que el caudal necesario resultará ser:

$$Q = \frac{E_{disipar}}{\rho_{agua\ dulce} \cdot C_{agua\ dulce} \cdot \Delta T} = \frac{18,5}{1000 \cdot 4,18 \cdot 9} = 0,0005 \frac{m^3}{s}$$
$$Q = 1,8 \frac{m^3}{h}$$

Se instalarán dos bombas con esas características como mínimo, siendo una de respeto, por línea.

Bomba refrigeración agua dulce mot. ppal.		
Marca	EBARA	-
Modelo	CMA 1.00 T	-
Nº de bombas	4	-
Caudal	2.4	m³/h
Presión	3.28	bar
Rendimiento	0.6	-
Potencia	0.36	kW
Peso	174	kg

Tabla 21. Bomba de refrigeración agua dulce mot. ppal.

Finalmente se diseñará el sistema de refrigeración del motor secundario de igual manera que para el primario.

En este caso, como se ha explicado anteriormente y se puede observar en el esquema de funcionamiento incluido en el anexo 2, se requerirá un caudal suficiente para disipar únicamente la mitad de la energía del sistema por cada línea de refrigeración, sin embargo el cálculo del caudal se hará para el total de agua que pasa por el motor, es decir el resultado de la convergencia de las dos líneas de agua dulce de refrigeración destinadas al motor secundario, por lo que la energía a disipar será:

$$E_{disipar} = 2 \cdot 34,5 = 69 \text{ kW}$$



El salto térmico, igual que en el motor principal se considerará como 9 °C, con que el caudal que deberá tener entrar en el motor será:

$$Q = \frac{E_{disipar}}{\rho_{agua dulce} \cdot C_{agua dulce} \cdot \Delta T} = \frac{69}{1000 \cdot 4,18 \cdot 9} = 0,002 \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 6,6 \frac{m^3}{h}$$

Este caudal calculado será el que entre por el motor, pero hay que tener en cuenta que este caudal se constituye por dos líneas de agua dulce diferentes, una correspondiente a cada línea de refrigeración de agua salada, luego el caudal se dividirá en dos circuitos de 3,3 m³/h cada uno, es decir se van a instalar dos bombas de al menos 3,3 m³/h por línea, siendo una de ellas de respeto.

Bomba refrigeración agua dulce mot. sec.		
Marca	EBARA	-
Modelo	CD 70/12	-
Nº de bombas	4	-
Caudal	4.8	m ³ /h
Presión	2.65	bar
Rendimiento	0.6	-
Potencia	0.58	kW
Peso	175	kg

Tabla 22. Bomba de refrigeración agua dulce mot. sec.

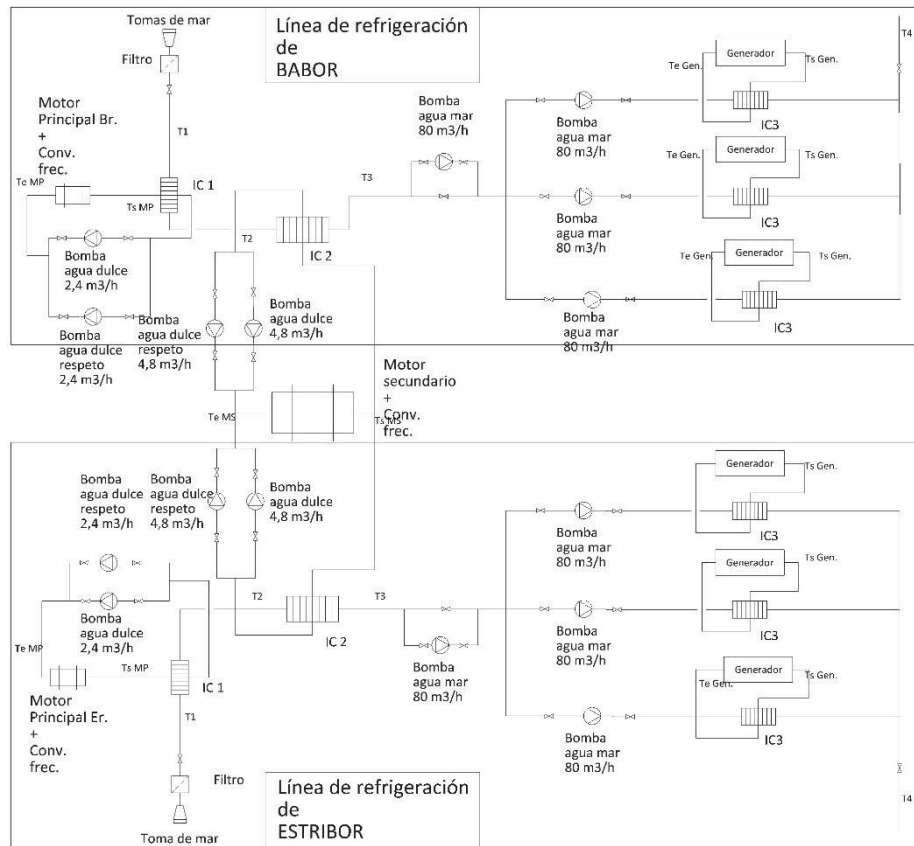


Ilustración 3. Diagrama de funcionamiento, sistema de refrigeración

* Nótese, que aunque en el dibujo la divergencia y convergencia de las líneas de refrigeración del sistema de refrigeración del sistema propulsor secundario, así como las líneas de refrigeración de los generadores se han dibujado en ángulo recto, siendo esto únicamente a modo indicativo, y en su construcción real se construirá de tal manera que los flujos se interfieran negativamente lo menos posible entre sí.

4.3.3. INTECAMBIADORES DE CALOR

Los intercambiadores de calor serán de placas, y el propio fabricante será quien los diseñe de forma específica para cada situación, sin embargo conviene conocer los datos de caudal para cada línea, así como los saltos térmicos específicos.

En el caso de los circuitos cerrados de agua dulce ya se conoce tanto el salto térmico como el caudal al que se mueve el fluido. Sin embargo será necesario identificar los diferentes saltos térmicos entre circuitos.

El proceso de cálculo será, para un caudal de $216 \text{ m}^3/\text{h}$ en el colector de mar ($72 \text{ m}^3/\text{h}$ en los ramales de los generadores principales), y fijando la temperatura de entrada del colector (T1



en el diagrama), se resolverá conociendo que la energía a disipar en el circuito de agua dulce será la que disipe el circuito de agua salda, es decir:

$$E_{d\ AS} = E_{d\ AD}$$

Que sustituyendo por la expresión de energía disipada usada en apartados anterior quedaría:

$$Q_{AD} \cdot \rho_{AD} \cdot C_{AD} \cdot \Delta T_{AD} = Q_{AS} \cdot \rho_{AS} \cdot C_{AS} \cdot \Delta T_{AS}$$

$$\Delta T_{AS} = \frac{Q_{AD} \cdot \rho_{AD} \cdot C_{AD} \cdot \Delta T_{AD}}{Q_{AS} \cdot \rho_{AS} \cdot C_{AS}}$$

Se estimarán las diferentes temperaturas, para el caso de condición a máxima velocidad, de acuerdo con el diagrama adjunto en el anexo 2.

a) T1

Se ha tomado como la temperatura máxima continuada que se ha registrado en la superficie marina en el último año, 32 °C.

b) T2

La temperatura T2 es la que tiene el colector de mar a la salida del intercambiador de calor que refrigera el circuito de agua dulce del motor de propulsión principal, y resolviendo en la expresión previa:

$$T_2 - T_1 = \frac{1,8 \cdot 1000 \cdot 4,18 \cdot 9}{3 \cdot 72 \cdot 1025 \cdot 3,98} = 0,08^\circ C$$

Luego la temperatura T2 = 32 + 0,23 = 32,08 ° C



c) T3

La temperatura T3 es la que hay a la salida del intercambiador de calor destinado a la refrigeración del motor de propulsión secundario:

$$T_3 - T_2 = \frac{3,3 \cdot 1000 \cdot 4,18 \cdot 9}{3 \cdot 72 \cdot 1025 \cdot 3,98} = 0,14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Entonces T3 = 32,08 + 0,17 = 32,22 °C

d) T4

De igual manera se procede con la temperatura T4, que será la de salida del circuito, que deberá ser inferior a 38 °C, pues se ha estudiado el sistema para funcionar con un salto térmico máximo de 6 °C.

$$T_4 - T_3 = \frac{13,6 \cdot 1000 \cdot 4,18 \cdot (81 - 52)}{72 \cdot 1025 \cdot 3,98} = 5,61 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Lo que da una temperatura de descarga al mar de T4 = 32,22 + 5,61 = 37,81 °C.

Como se puede observar, la temperatura de salida final es algo inferior a la inicialmente estudiada, esto se debe a los redondeos tomados durante los cálculos, realizados siempre hacia arriba para no sufrir el riesgo de infradimensionar el sistema.

Conociendo pues, todos estos datos se sabe que los intercambiadores a instalar tendrán las siguientes características:

Intercambiador de calor del motor principal (IC 1)		
Parámetro	Valor	Unidades
ΔT_{AD}	9	°C
QAD	2,24	m ³ /h
ΔT_{AS}	0,1	°C
Q AS	216	m ³ /h
Calor a disipar	18,5	kW

Tabla 23. Intercambiador de calor del motor principal (IC1)



Intercambiador de calor del motor secundario (IC 2)		
Parámetro	Valor	Unidades
ΔT_{AD}	9	°C
QAD	3,9	m ³ /h
ΔT_{AS}	0,17	°C
Q AS	216	m ³ /h
Calor a disipar	34,5	kW

Tabla 24. Intercambiador de calor del motor secundario (IC2)

Intercambiadores de calor de los generadores principales (IC 3)		
Parámetro	Valor	Unidades
ΔT_{AD}	29	°C
QAD	13,6	m ³ /h
ΔT_{AS}	5,61	°C
Q AS	72	m ³ /h
Calor a disipar	458	kW

Tabla 25. Intercambiador de calor de los generadores principales (IC3)

4.4. SERVICIO DE AIRE COMPRIMIDO

El servicio de aire comprimido tiene una doble función, primero asegurar la capacidad de arranque del motor mediante la inyección de aire a presión en sus pistones, la presión necesaria por normativa en las botellas de aire comprimido será de 30 bar, aunque el generador, de acuerdo a las especificaciones del fabricante dadas en la guía de proyecto requiere una presión de operación del aire comprimido para el arranque de entre 2,7 bar y 10,3 bar; siendo la presión recomendada 6,89 bar.

En el caso de este motor, el fabricante asegura que es posible arrancarlo mediante energía eléctrica, sin embargo el servicio de aire comprimido se debe instalar para asegurar el arranque incluso en una situación en la que no se disponga de capacidad eléctrica y deba hacerse de forma manual y mecánica.

Por otra parte, los diferentes equipos a bordo pueden requerir para algunas operaciones aire comprimido a 7 bar, para tal fin se han barajado dos opciones diferentes:

- Instalación de una botella adicional, en cuyo interior el aire se encuentre comprimido a una razón de 7 bar.



- Instalación de líneas secundarias en las botellas de arranque de 30, con válvulas reguladoras de presión capaces de ofrecer 7 bar para equipos secundarios.

Finalmente se han elegido ambas alternativas, disponiendo entonces botellas de aire comprimido a 30 bar para arranque, con líneas secundarias en sus salidas reguladas por una válvula capaz de permitir un flujo a una presión de 7 bar, usándose estas líneas solo en caso de que falle una botella de 7 bar de presión que va a instalarse con el objetivo de suplir aire comprimido para los equipos a bordo que lo puedan requerir.

Además, para el grupo generador de emergencia se dotará de una pequeña bomba de aire comprimido a 30 bar en el mismo local que el grupo, para asegurar que su arranque en cualquier situación.

Se van a diseñar y definir a continuación los diferentes elementos que componen el sistema de aire comprimido.

4.4.1. BOTELLAS DE AIRE COMPRIMIDO

Todas las decisiones arbitrarias tomadas en el diseño de elementos se hacen de acuerdo al reglamento Bureau Veritas, Parte C, capítulo 1, sección 10, regla 17.2 y 17.3.

a) Botellas de arranque de generadores principales (30 bar)

Basándonos en las reglas previamente indicadas, sabemos que el buque deberá disponer de un mínimo de dos botellas de aire comprimido a 30 bares con capacidad para arrancar, en el caso de grupos generadores eléctricos, asegurar para cada uno 3 arrancadas consecutivas con una única carga de una botella, sin necesidad de rellenarla durante el proceso.

De acuerdo a lo especificado por el fabricante, el cálculo del volumen de las botellas de aire comprimido a 30 bar para el arranque de los motores se realizará mediante la siguiente expresión:

$$V_T = \frac{V_S \cdot T \cdot P_A}{P_t - P_{min}}$$

Donde

- V_S , es el consumo de aire, dado por el fabricante: 0,4 m³/s
- T , es el tiempo de arranque en segundos, que se tomará como 14 segundos en total para las tres arrancadas, de acuerdo a la guía de proyecto del motor.
- P_A , es la presión atmosférica, 1 bar
- P_t , es la presión de la botella en arranque, es decir 30 bar.



- P_{min} , es la presión mínima requerida para arrancar el motor, dada por el fabricante, y que son 2,7 bar.

Se tiene entonces un volumen de botellas por cada grupo electrógeno de:

$$V_T = \frac{0,4 \cdot 14 \cdot 1}{30 - 2,7} = 0,205 \text{ m}^3$$

Para tres grupos generadores, que serán los necesarios durante la condición de servicio, será necesario instalar el triple, pero se va a dotar además de un margen de seguridad de un 15% al total de volumen:

$$V_T = 1,2 \cdot 3 \cdot 0,205 \approx 0,75 \text{ m}^3$$

Repartido en dos botellas de $0,38 \text{ m}^3$ cada una con un peso de 200 kg.

- b) Botella de arranque de generador de emergencia (30 bar)

De acuerdo a los datos facilitados por el fabricante, sería suficiente la instalación de una botella de aire comprimido con volumen total:

$$V_T = 0,15 \text{ m}^3$$

Con un peso de 80 kg.

- c) Botella de servicios generales (7 bar)

Se va a disponer una botella de menor volumen que las de arranque, estimado en $0,25 \text{ m}^3$; pero para aire a 7 bar.

Como ya se ha comentado, en caso de fallo de esta botella se usará una de las de arranque controlada por una válvula reguladora de presión.

Luego la botella tendrá un volumen de $0,25 \text{ m}^3$ y un peso de 70 kg.



4.4.2. COMPRESORES DE AIRE

Nuevamente, para la toma de decisiones se respeta siempre lo estipulado en la normativa explicada al comienzo del punto anterior.

a) Compresor de botellas de arranque principales

De acuerdo a la normativa se deberán disponer al menos dos compresores con capacidad cada uno de ellos para llenar la botella a partir de aire atmosférico en menos de 30 minutos.

Se va a suponer el peor de los casos, es decir que la botella de aire comprimido está completamente vacía, y se encuentra a presión atmosférica, luego el caudal para llenar la botella en 30 minutos será:

$$Q = \frac{V}{t} \cdot \frac{\Delta P}{P_{atm}} = \frac{0,35}{0,5} \cdot \frac{30 - 1}{1} = 20,3 \frac{m^3}{h}$$

Compresor aire arranque grupos principales		
Marca	Hatlapa	-
Modelo	L20	-
Nº Compresores	2	-
Caudal	20,5	m ³ /h
Potencia	5,3	kW
Peso	180	kg

Tabla 26. Compresor aire arranque grupos principales

b) Compresor de botella de arranque del grupo de emergencia

El procedimiento de cálculo será el mismo:

$$Q = \frac{V}{t} \cdot \frac{\Delta P}{P_{atm}} = \frac{0,15}{0,5} \cdot \frac{30 - 1}{1} = 8,7 \frac{m^3}{h}$$



Compresor aire arranque grupo de emergencia		
Marca	Hatlapa	-
Modelo	L9	-
Nº Compresores	1	-
Caudal	8,7	m ³ /h
Potencia	2,3	kW
Peso	120	kg

Tabla 27. Compresor aire arranque grupo de emergencia

c) Compresor de botella de servicios generales

Se procederá de igual manera para el compresor de servicios generales, siendo el caudal mínimo del compresor:

$$Q = \frac{V}{t} \cdot \frac{\Delta P}{P_{atm}} = \frac{0,25}{0,5} \cdot \frac{7-1}{1} = 3,5 \frac{m^3}{h}$$

Compresor equipos secundarios		
Marca	Hatlapa	-
Modelo	L9	-
Nº Compresores	1	-
Caudal	6.6	m ³ /h
Potencia	1.70	kW
Peso	120	kg

Tabla 28. Compresor equipos secundarios

4.5. SISTEMA DE EXHAUSTACIÓN

De los datos ofrecidos por el fabricante, conocemos que los gases de escape de los grupos generadores salen a 509,3 °C de temperatura, a razón de 165 m³/min, por un diámetro de tubería de 203 mm.

Además, el nivel de ruido en la cámara de máquinas resulta demasiado elevado, con que se



tratará de solventar esto en la medida de lo posible.

Se adjunta una tabla con los niveles de ruido del grupo generador instalado a diferentes frecuencias:

Sound pressure Level LPA @ 75% Last @ 7m									
dB \ Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Overall dBA
Mechanical [Stby]	82.9	92.9	90.3	88.9	89.3	88.4	82.5	80.7	94.2
Exhaust [Stby]	84.4	103.4	105	93.6	91.1	89.1	78.5	63.3	99.3

Tabla 29. Nivel sonoro, grupo generador principal

Se dispone un guardacalor por cada local independiente de la cámara de máquinas, pegados a los costados. Cada uno de estos guardacalores incorpora tres conductos de diferente diámetro en su interior, el más grande es el que conduce al exterior los gases de exhaustación de los grupos generadores, los dos más pequeños son para otros sistemas a bordo que generen humos o gases de combustión, como la incineradora o la cocina.

Se recomienda que la velocidad en los conductos del guardacalor sea inferior a 40 m/s para evitar daños, por ello se va a diseñar de tal manera que no se exceda dicho valor, incluso con los seis generadores principales funcionando al mismo tiempo, es decir durante la condición de navegación a velocidad máxima.

Esto significa que el conducto de gases de exhaustación del conducto destinado a tal fin en el guardacalor deberá diseñarse con este objetivo.

De acuerdo a los datos ofrecidos por el fabricante el escape de gases es de 165 m³/min por generador, y como se disponen tres generadores por local de la cámara de máquinas:

$$Q_{exh} = 3 \cdot 165 = 495 \frac{m^3}{min} = 8,25 \frac{m^3}{s}$$

El área del conducto de exhaustación se va a calcular para una velocidad de los gases de 10 m/s, a fin de asegurar que no hay daños en el conducto:



$$A_{conducto} = \frac{Q_{exh}}{v} = \frac{8,25}{10} = 0,825 \text{ m}^2$$

Con esto se tiene un diámetro interior de:

$$D_{conducto} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{conducto}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,825}{\pi}} = 1,03 \text{ m}$$

Sin embargo, como los datos de exhaustación son para una carga del 75%, se va añadir un 20% de margen al resultado obtenido, lo que da un diámetro de:

$$D_{conducto} = 1,2 \cdot 1,03 = 1,24 \text{ m}$$

A fin de evitar que se transmita el elevado calor desprendido por los generadores en sus gases de exhaustación a la cámara de máquinas u otros locales, se dispondrá un aislamiento suficiente a lo largo de todo el guardacalor.

Finalmente, para reducir los niveles de ruido de los motores se instalarán silenciadores equipados con sistema supresor de chispas, que pueden aportar una reducción de intensidad de ruidos de hasta 35 dB en la exhaustación del motor.

4.6. SISTEMA DE VENTILACIÓN

La función principal del sistema de ventilación de la cámara de máquinas es la refrigeración de los grupos generadores principales y el suministro de aire para la combustión a los mismos. Además arrastrará consigo aquellos gases nocivos que hayan podido generarse y acumularse en la cámara de máquinas.

Los locales a ventilar serán:

- Cámara de máquinas
- Local del grupo de emergencia
- Sala de equipos eléctricos (transformadores y cuadros eléctricos)

Otros locales como los motores propulsores no se han tenido en cuenta en este punto puesto que se ha instalado un sistema de refrigeración líquida para los mismos.



Se instalarán ventiladores para mantener el local o locales ventilados, de acuerdo a las diferentes consideraciones que se exponen en los puntos siguientes.

Los cálculos y datos se basan tanto en la guía de proyecto del motor como en la guía de instalación y aplicación de los generadores en cámara de máquinas que ofrece el fabricante para tal efecto.

4.6.1. DISTRIBUCIÓN DE LA VENTILACIÓN EN CÁMARA DE MÁQUINAS

Hay una serie de recomendaciones previas para la instalación de una ventilación eficiente en la cámara de máquinas:

- Las entradas de ventilación se situarán tan lejos como sea posible de las fuentes principales de calor, y en un punto bajo, ya que el calentarse, disminuye la densidad del aire y este tiende a subir.
- Por la misma razón se situarán los puntos de extracción en la zona más alta posible, y en caso de que se pueda directamente sobre las fuentes de calor principales.

En cuanto a la ruta seguida por el aire al ventilar la cámara de máquinas debe tenerse en cuenta la disposición de varios grupos generadores, ya que pueden obstaculizar el flujo de ventilación, por ello el aire avanzará desde proa hacia popa, ya que en la zona de popa de la cámara de máquinas se sitúan dos grupos generadores, mientras que la de proa está más liberada, y si la ventilación se efectuase transversalmente, los generadores situados más a popa se obstaculizarían, en la imagen siguiente se puede ver en verde el camino elegido para la ventilación, y en rojo la alternativa transversal que podría resultar contraproducente.

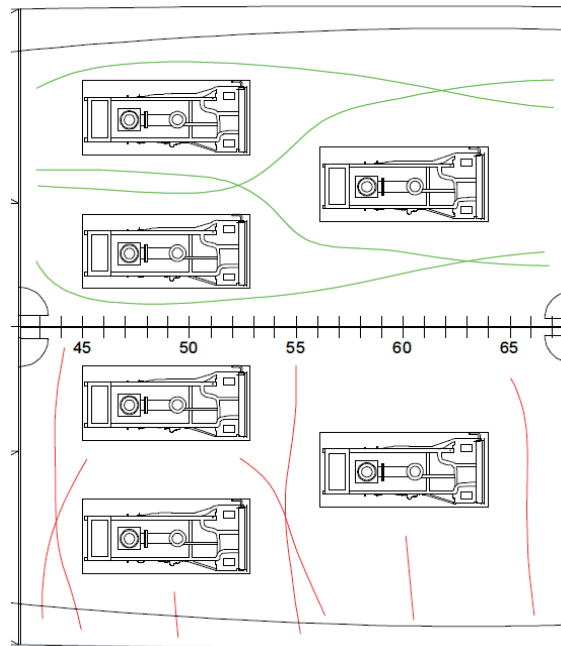


Ilustración 4. Flujos ventilación CCMM

Evidentemente la roja resulta mucho menos efectiva, al cubrir menos parte de los grupos generadores, por eso se distribuirá desde proa hacia popa, además, de acuerdo a la guía de instalación, si el aire se introduce de esta manera, y desde la zona inferior de la cámara, extrayéndose por la zona superior, se puede considerar un factor de ruta “F” como 1, sin embargo, este valor sería en caso de que la extracción se situase exactamente sobre el propio motor con ventiladores en la entrada y en la salida, para posibles desviaciones en la posición exacta del sistema de extracción, se va a dotar de un factor $F=1,1$ a este local.

4.6.2. VENTILACIÓN CÁMARA DE MÁQUINAS

Para calcular el caudal demandado por la cámara de máquinas se deben conocer dos datos:

- Calor a refrigerar que radian los grupos generadores
- Aire consumido por los grupos en la combustión

Ambos valores son conocidos por la guía de proyecto del motor.

En el caso del calor radiado son: 108 kW por parte del motor y 50,2 kW por parte del generador, para cada grupo, es decir 158,2 kW.



Como se va a considerar la condición de navegación más estricta, es decir navegando a velocidad máxima, tres grupos generadores por local de cámara de máquinas estarán conectados al mismo tiempo, esto es $158,2 \cdot 3 = 474,6$ kW. Se han tenido en cuenta solo tres, pues como se ha dicho en varias ocasiones a lo largo de este proyecto la cámara de máquinas está dividida en dos locales independientes, por lo que el sistema de ventilación se proyectará para uno de los mismos, pudiéndose extrapolar al otro.

En cuanto al valor del caudal de aire consumido por cada grupo generador durante su combustión será, de acuerdo al fabricante $60,3 \text{ m}^3/\text{min}$, lo que multiplicado por el número de generadores son: $3 \cdot 60,3 = 180,9 \text{ m}^3/\text{min}$.

Conocidos estos datos, para calcular el caudal que tendrá que tener el sistema de ventilación para refrigerar el calor radiado, usaremos la siguiente expresión proveniente de la guía de instalación del fabricante:

$$Q_{rad} = \frac{H}{\rho \cdot C \cdot \Delta T}$$

Donde:

- H, es el calor radiado en la cámara de máquinas, que se tomará como la suma del calor radiado por los motores y los alternadores, más un 1% de margen debido al calor radiado de los conductos de exhaustación, es decir: $1,01 \cdot 474,6 = 479,34 \sim 480$ kW
- ρ , es la densidad del aire a la temperatura de la cámara de máquinas, que se supondrá 36°C , luego la densidad será: $1,14 \text{ kg}/\text{m}^3$
- C, es la capacidad calorífica del aire: $1,01 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ \text{C})$
- ΔT , es la diferencia de temperatura, para lo que el fabricante recomienda un valor entre 9°C y 12°C , se tomará el primero por ser una situación más desfavorable.

Luego resolviendo tendremos:

$$Q_{rad} = \frac{480}{1,14 \cdot 1,01 \cdot 9} = 46,32 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2779,2 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Se sumarán entonces los caudales tanto de calor radiado como de aire de admisión para la combustión para conocer finalmente el valor necesario del caudal de ventilación en la cámara de máquinas será:



$$Q_{CCMM} = F \cdot (Q_{admisión} + Q_{radiación}) = 1,1 \cdot (180,9 + 2779,2)$$

$$Q_{CCMM} = 3.256,1 \frac{m^3}{min} = 195.367 \frac{m^3}{h}$$

Se estimará ahora el caudal de extracción de la cámara de máquinas, sabiendo que el aire de admisión que entra a la combustión del generador se expulsará con los gases de exhaustación del mismo, luego hay que deducirlo del sistema de extracción de la ventilación.

Habrà que extraer por tanto 2.779,2 m³/min, pero este aire, debido al aumento de temperatura que le afecta durante su paso por la cámara de máquinas sufrirá una expansión, por lo que se va a considerar un 15% de caudal más a extraer de dicho local, luego el caudal a extraer es:

$$Q_{extracción} = 1,15 \cdot 2779,2 = 3.196,1 \frac{m^3}{min} = 191.766 \frac{m^3}{h}$$

Se van a calcular el número de renovaciones de aire que ocurren en la cámara de máquinas cada hora, ya que de acuerdo a un criterio conocido como “criterio de confort en la cámara de máquinas”, el número de renovaciones del aire a la hora en la cámara de máquinas deberá ser superior a 25+2·n^ºmotores, lo que en este caso resulta, para 3 grupos generadores instalados un número de renovaciones mínimo de 25+2·3 = 31 renovaciones/hora.

$$n^{\circ} renovaciones = \frac{Q_{extracción}}{V_{CCMM}} = \frac{191.766}{768,93} = 249,4 \frac{renovaciones}{hora}$$

Un valor bastante elevado, lo que asegura una correcta renovación constante del aire de la cámara de máquinas.

Finalmente se van a identificar los ventiladores necesarios para asegurar el correcto flujo del aire en el sistema de ventilación.

Se dispondrán dos ventiladores a proa de la cámara de máquinas para la entrada de aire, con una capacidad cada uno superior a la mitad del valor de caudal de admisión en la cámara de máquinas $\frac{195367}{2} = 97.684 \frac{m^3}{h}$, se dispondrán entonces dos ventiladores para esta entrada de aire por local de cámara de máquinas, es decir cuatro en total.

Su situación será en el techo de cada local, aunque luego se pueda reconducir internamente en



el local, evitando de esta manera su paso por los tanques de combustible.

Ventilador entrada aire CCMM		
Marca	France-Air	-
Modelo	Axalu F200-120	-
Nº de ventiladores	4	-
Caudal	108624	m ³ /h
Presión	0.01	bar
Rendimiento	0.8	-
Potencia	37.00	kW
Peso	205	kg

Tabla 30. Ventilador entrada aire CCMM

Para la extracción se dispondrán igualmente dos ventiladores en el techo y ligeramente a popa de los grupos generadores situados más cerca del extremo de popa del local, para cada uno de los locales de la cámara de máquinas, dichos ventiladores contarán con una capacidad superior a $\frac{191.766}{2} = 95.883 \frac{m^3}{h}$, luego se dispondrán el mismo modelo que los anteriores destinados a la entrada de aire.

Ventilador extracción aire CCMM		
Marca	France-Air	-
Modelo	Axalu F200-120	-
Nº de ventiladores	4	-
Caudal	108624	m ³ /h
Presión	0.01	bar
Rendimiento	0.8	-
Potencia	37.00	kW
Peso	205	kg

Tabla 31. Ventilador extracción aire CCMM

4.6.3. CAUDAL GENERADOR DE EMERGENCIA

Al igual que para el caso de los grupos generadores, debe conocerse tanto el calor radiado por el conjunto motor y alternador como el aire consumido por el mismo durante la combustión.

Estos datos son suministrados por el fabricante, resultando:



- Calor radiado por motor: 129 kW
- Calor radiado por generador: 38,3 kW
- Aire consumido en la combustión: 37,4 m³/min

Se procede se forma semejante, de tal manera que el caudal para refrigerar el calor radiado será:

$$Q_{rad} = \frac{H}{\rho \cdot C \cdot \Delta T} = \frac{129 + 38,3}{1,14 \cdot 1,01 \cdot 9} = 16,15 \frac{m^3}{s} = 969 \frac{m^3}{min}$$

El caudal por tanto a introducir en el local del generador de emergencia será la suma de este y el consumido, teniendo en cuenta que en este caso el factor F tendrá valor unitario:

$$Q_{emergencia} = F \cdot (Q_{admisión} + Q_{radiación}) = 1 \cdot (37,4 + 969) = 1006,4 \frac{m^3}{min} = 60.384 \frac{m^3}{h}$$

Para el caudal de extracción se deducirá el caudal de admisión consumido por los motores y se añadirá un 15% más de caudal debido a la expansión térmica, resultando:

$$Q_{extracción} = 1,15 \cdot 969 = 1.114,4 \frac{m^3}{min} = 66.861 \frac{m^3}{h}$$

Se dispondrá un ventilador a proa del local y otro a popa de iguales características:

Ventilador entrada aire local emergencia		
Marca	France-Air	-
Modelo	Axalu F200-120	-
Nº de ventiladores	1	-
Caudal	88073	m ³ /h
Presión	0,01	bar
Rendimiento	0,8	-
Potencia	30,00	kW
Peso	165	kg

Tabla 32. Ventilador entrada aire local emergencia



Ventilador extracción aire local emergencia		
Marca	France-Air	-
Modelo	Axalu F200-120	-
Nº de ventiladores	1	-
Caudal	88073	m³/h
Presión	0,01	bar
Rendimiento	0,8	-
Potencia	30,00	kW
Peso	165	kg

Tabla 33. Ventilador extracción aire local emergencia

4.6.4. CAUDAL EQUIPOS ELÉCTRICOS

La ventilación referida a equipos eléctricos pasa por el local de cuadros eléctricos, convertidores de frecuencia y transformadores, para refrigerar esta sala.

El calor radiado por el conjunto de sistemas estima como un 3% de la potencia total generada a bordo en la condición de navegación a velocidad máxima más el 3% de la potencia consumida por los motores eléctricos de propulsión, con que:

$$Q_{equipos\ eléctricos} = \frac{0,03 \cdot (P_{generador} \cdot n^{\circ} generadores + 2 \cdot P_{motor\ ppal} + P_{motor\ sec})}{\rho \cdot C \cdot \Delta T}$$

$$Q_{equipos\ eléctricos} = \frac{0,03 \cdot (800 \cdot 6 + 2 \cdot 570 + 2300)}{1,14 \cdot 1,01} = 214,7 \frac{m^3}{min} = 12.882 \frac{m^3}{h}$$

En esta sala se instalará un único ventilador para la entrada de aire en proa del local y otro de extracción en popa del local, en ambos casos se dispondrá el mismo modelo de ventilador.

Ventilador entrada aire eq. eléctricos		
Marca	France-Air	-
Modelo	Axalu F200-120	-
Nº de ventiladores	1	-
Caudal	16147	m³/h
Presión	0.01	bar
Rendimiento	0.8	-
Potencia	5.50	kW
Peso	31	kg

Tabla 34. Ventilador entrada aire eq. eléctricos



Los ventiladores de extracción de aire se situarán a popa de local pero sobre el techo, ya que a popa se encuentra un tanque de combustible.

Ventilador salida aire eq. eléctricos		
Marca	France-Air	-
Modelo	Axalu F200-120	-
Nº de ventiladores	1	-
Caudal	16147	m ³ /h
Presión	0.01	bar
Rendimiento	0.8	-
Potencia	5.50	kW
Peso	31	kg

Tabla 35. Ventilador salida aire eq. Eléctricos

4.7. SISTEMA HIDRÁULICO

El sistema hidráulico se dispone para operar el pórtico de popa.

Para tal fin se instalarán dos bombas electrohidráulicas, una de respeto de la otra que bombearán el aceite a los sistemas de control de movimiento del pórtico de popa para su uso desde un pequeño tanque almacén.

La potencia de estas bombas se tomará de acuerdo a lo observado en un buque real cuyo pórtico de popa disponía de una capacidad similar.

Bomba hidráulica		
Marca	EBARA	-
Modelo	CMA 3.00 T	-
Nº de bombas	2	-
Caudal	1,2	m ³ /h
Presión	5,3	bar
Rendimiento	0,4	-
Potencia	0,43	kW
Peso	173	kg

Tabla 36. Bomba hidráulica



5. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados se puede considerar que se han logrado cumplir los objetivos propuestos con éxito.

A lo largo del presente cuaderno han quedado definidos los diferentes sistemas auxiliares de la cámara de máquinas necesarios para un correcto funcionamiento de la misma, permitiendo una ventilación adecuada de los locales, refrigeración suficiente en los generadores y motores eléctricos. Además de la definición de los servicios de aceite y combustible.

Para todo ello lo primero que se ha hecho ha sido, en base a los datos obtenidos de otros cuadernos, concretamente el 6 referido al propulsor, y el 9 referido a la planta eléctrica, ha sido definir los motores propulsores eléctricos óptimos y los grupos generadores para las diferentes situaciones de carga, incluyendo la de puerto y emergencia.



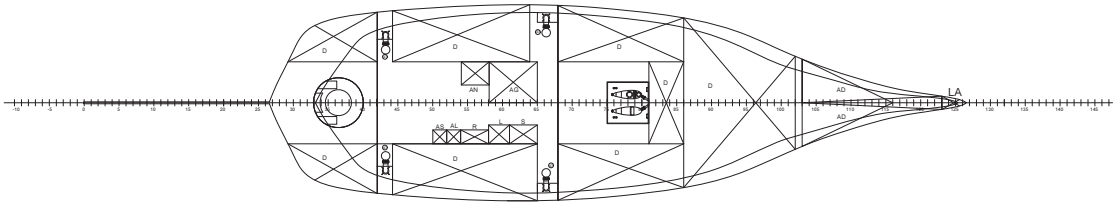
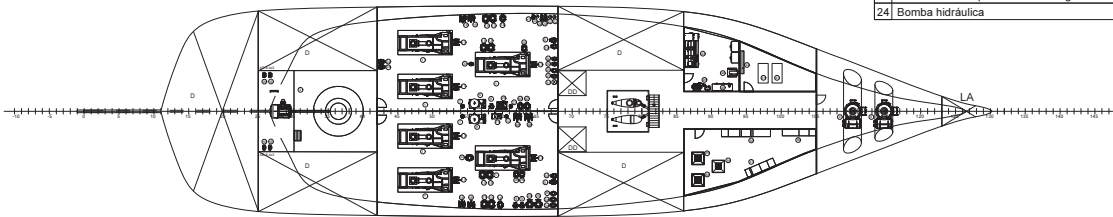
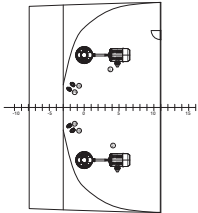
6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MEIZOSO FERNÁNDEZ, MANUEL; ALVARIÑO CASTRO, RICARDO; AZPÍROZ AZPÍROZ, JUAN JOSÉ. *“El Proyecto Básico del Buque Mercante”*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval, 1997
- [2] LÓPEZ PIÑEIRO, AMABLE. *“Diseño General de la Planta Eléctrica. Sistemas Eléctricos y Electrónicos a Bordo”*. ETSIN, 2013
- [3] LÓPEZ PIÑEIRO, AMABLE. *“Distribución Eléctrica a Bordo. Sistemas Eléctricos y Electrónicos a Bordo”*. ETSIN, 2013



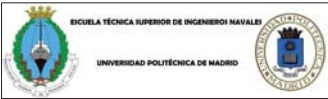
7. ANEXO 1: DISTRIBUCIÓN DE LA CÁMARA DE MÁQUINAS

PFC Nº 252: BUQUE OCEANOGRÁFICO 7000 T



1	Grupo generador principal	25	Bomba sentinas
2	Motor principal	26	Separadora sentinas
3	Motor secundario	27	Bomba auxiliar separadora
4	Motor transversal proa	28	Bomba contra incendios
5	Bomba trasiego MDO	29	Bomba agua dulce sanitaria
6	Purificadora MDO	30	Bomba agua dulce sanitaria caliente
7	Bomba purificadora MDO	31	Tanque hidróforo
8	Bomba lodos	32	Bomba descarga aguas residuales (mar)
9	Bomba aceite	33	Bomba descarga aguas residuales (tierra)
10	Bomba prelubricación	34	Bomba sistema CUFES
11	Purificadora aceite	35	Bomba muestreo continuo
12	Bomba purificadora aceite	36	Cuadro eléctrico principal
13	Bomba refrigeración agua salada	37	Cuadro eléctrico secundario
14	Bomba refrigeración agua dulce generador principal	38	Cuadro emergencia
15	Bomba refrigeración agua dulce motor principal	39	Transformador 400/230
16	Bomba refrigeración agua dulce motor secundario	40	Bomba lastre
17	Intercambiador de calor generador principal	41	Unidad aire acondicionado
18	Intercambiador de calor motor principal	42	Cuadro de control aire acondicionado
19	Intercambiador de calor motor secundario	43	Torno
20	Compresor aire arranque de generador principal	44	Taladro
21	Compresor aire equipos y servicios	45	Mesa taller
22	Botella aire comprimido arranque	46	Soldador
23	Botella aire comprimido servicios generales	47	Toma de mar
24	Bomba hidráulica	48	Pre calentadores de aceite

D	Tanque almacén MDO
DD	Tanque servicio diario MDO
AG	Tanque aguas grises
AN	Tanque aguas negras
AD	Tanque agua dulce
LA	Tanque agua lastre
L	Tanque lodos
S	Tanque sentinas
R	Tanque reboses
AS	Tanque aceite sucio
AL	Tanque aceite lubricación

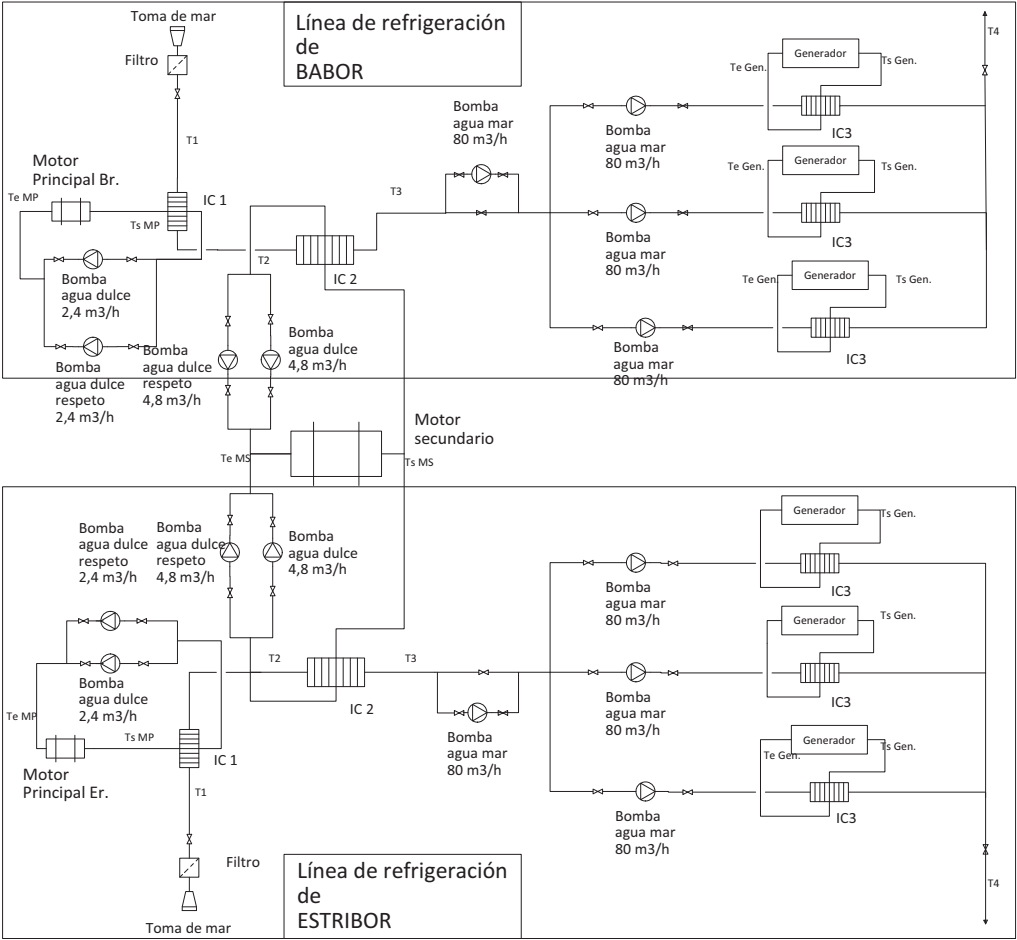


CÁMARA MÁQUINAS		Plano: 701	Escala: 1:230	Formato: A2
Alumno: Alejandro Rodríguez Rodríguez			Fecha: 11/04/2015	
Tutor: Eloy J. Carrillo Hontoria			Hoja: 1 de 1	



8. ANEXO 2: DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

PFC Nº 252: BUQUE OCEANOGRÁFICO 7000 T



 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES  UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID			
DIAGRAMA REFRIGERACIÓN	Plano: 702	Escala: -	Formato: A2
Alumno:	Alejandro Rodríguez Rodríguez		Fecha: 10/04/2015
Tutor:	Eloy J. Carrillo Hontoria		Hoja: 1 de 1



PROYECTO Nº 252

BUQUE OCEANOGRÁFICO

DE 7.000 T

Cuaderno 8

Equipos y servicios

TUTOR: ELOY J. CARRILLO HONTORIA

ALUMNO: ALEJANDRO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
1.	INTRODUCCIÓN	10
2.	SERVICIOS DE GOBIERNO	11
2.1.	PROPULSORES PRINCIPALES	11
2.2.	PROPULSOR AUXILIAR	11
2.3.	PROPULSORES TRANSVERSALES	11
3.	EQUIPOS DE NAVEGACIÓN Y RADIOCOMUNICACIONES	12
3.1.	EQUIPO NAVEGACIÓN	12
3.2.	EQUIPO DE COMUNICACIÓN INTERNO	13
3.2.1.	MEGAFONÍAS, TIMBRES Y ALARMAS	13
3.2.2.	OTROS EQUIPOS	14
3.3.	EQUIPO DE COMUNICACIÓN EXTERNO	14
3.3.1.	EQUIPOS ACÚSTICOS	16
4.	SERVICIOS DE FONDEO Y AMARRE	17
4.1.	NUMERAL DE EQUIPO	17
4.2.	FONDEO	17
4.2.1.	ANCLAS Y CADENAS	17
4.2.2.	CAJA DE CADENAS	19
4.2.3.	ESCOBÉN	19
4.2.4.	MOLINETES	19
4.2.5.	ESTOPOR Y BOZAS DE CADENAS	20
4.3.	AMARRE	21
4.3.1.	CABLES DE REMOLQUE Y AMARRAS	21
4.3.2.	ELEMENTOS DE AMARRE	22
4.3.3.	CASTILLO DE PROA	24
4.3.4.	MAQUINILLAS DE AMARRE	24
5.	EQUIPO DE SALVAMENTO	25
5.1.	EMBARCACIONES DE SUPERVIVENCIA	25
5.2.	BOTES DE RESCATE	26
5.3.	PESCANTE	27



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
5.4.	ESCALA DE EMBARQUE	28
5.5.	AROS SALVAVIDAS.....	28
5.6.	CHALECOS SALVAVIDAS	30
5.7.	TRAJES DE INMERSIÓN	30
5.8.	APARATOS LANZACABOS	31
5.9.	RADIOTELÉFONOS BIDIRECCIONALES	31
5.10.	DISPOSITIVO DE LOCALIZACIÓN DE BÚSQUEDA Y SALVAMENTO	31
5.11.	SEÑALES DE SOCORRO.....	31
5.12.	BANDERAS Y CÓDIGO DE SEÑALES	31
5.13.	TABLA DE SEÑALES DE SALVAMENTO.....	32
5.14.	BOTIQUÍN.....	32
5.15.	GUÍA SANITARIA	32
6.	SISTEMA DE ILUMINACIÓN	33
6.1.	ILUMINACIÓN GENERAL.....	33
6.1.1.	ILUMINACIÓN EXTERIOR	33
6.1.2.	ILUMINACIÓN INTERIOR.....	34
6.1.3.	ILUMINACION DE EMERGENCIA.....	34
6.1.4.	ILUMINACIÓN EN EL PUENTE	35
6.2.	LUCES DE NAVEGACIÓN	35
6.2.1.	LUZ DE TOPE.....	36
6.2.2.	LUCES DE COSTADO	36
6.2.3.	LUZ DE ALCANCE	36
6.2.4.	LUZ DE SIN GOBIERNO.....	36
6.2.5.	LUZ DE FONDEO Y VARADA.....	37
6.2.6.	LUZ DURANTE LABORES OCEANOGRÁFICAS DE PESCA.....	37
6.2.7.	LUZ DURANTE LABORES OCEANOGRÁFICAS NO PESCA	37
6.2.8.	TIPO DE LUCES DE NAVEGACIÓN	38
7.	SISTEMA DE ACHIQUE Y SENTINAS	39
7.1.	COLECTOR DE SENTINAS.....	39



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
7.2.	BOMBA DE SENTINAS	40
7.3.	ACHIQUE DE SENTINAS INDEPENDIENTES	41
7.3.1.	CÁMARA DE MÁQUINAS	41
7.3.2.	PROPULSORES PRINCIPALES	42
7.3.3.	PROPULSOR SECUNDARIO	42
7.3.4.	HÉLICES DE PROA	42
7.3.5.	CAJA DE CADENAS	43
7.4.	SEPARADORA DE SENTINAS	43
7.4.1.	BOMBA AUXILIAR DE LA SEPARADORA	44
8.	SERVICIO DE AIREACIONES, REBOSES Y SONDAS DE TANQUES.....	45
8.1.	AIREACIONES	45
8.2.	REBOSES	45
8.3.	SONDAS DE TANQUES	46
9.	SISTEMA DE LASTRE Y ANTI ESCORA.....	47
9.1.	SISTEMA DE LASTRE.....	47
9.2.	SISTEMA ANTI ESCORA.....	47
10.	SISTEMA DE BALDEO Y CONTRA INCENDIOS	49
10.1.	REQUISITOS GENERALES.....	49
10.2.	SISTEMA GENERAL.....	49
10.3.	SISTEMA CI DE AGUA SALADA.....	49
10.3.1.	TOMAS DE MAR.....	50
10.3.2.	BOMBAS DE AGUA SALADA	50
10.3.3.	MANGUERAS.....	52
10.3.4.	EXTINTORES	53
10.4.	SISTEMA DE CO2	54
10.4.1.	SISTEMA DE CÁMARA DE MÁQUINAS	54
10.4.2.	SISTEMA DE PAÑOL DE PINTURA	55
10.5.	ROCIADORES	55
10.5.1.	ACOMODACIÓN	56



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	10.5.2. CÁMARA DE MÁQUINAS	56
	10.5.3. PAÑOL DE PINTURAS	57
11.	SERVICIOS SANITARIOS	58
11.1.	AGUA DULCE SANITARIA FRIA.....	58
11.1.1.	TANQUES AGUA DULCE	58
11.1.2.	PLANTA POTABILIZADORA	58
11.1.3.	TANQUE HIDRÓFORO	59
11.1.4.	BOMBAS DE AGUA DULCE	60
11.2.	AGUA DULCE SANITARIA CALIENTE	61
11.2.1.	CALENTADORES	61
11.2.2.	BOMBAS	62
12.	SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES	63
12.1.	TANQUES DE AGUAS RESIDUALES	63
12.1.1.	TANQUE DE AGUAS GRISES	63
12.1.2.	TANQUE DE AGUAS NEGRAS	63
12.2.	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	64
12.3.	DESCARGA AL MAR DE AGUAS RESIDUALES	64
12.4.	DESCARGA A TIERRA DE AGUAS RESIDUALES	65
13.	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS	66
14.	EQUIPO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE (HVAC).....	67
14.1.	VENTILACIÓN	67
14.2.	AIRE ACONDICIONADO	68
14.3.	CALEFACCIÓN	70
15.	SERVICIOS DE HABILITACIÓN	72
15.1.	ACOMODACIÓN	72
15.1.1.	MAMPAROS DIVISORIOS, FORROS Y REVESTIMIENTO	72
15.1.2.	TECHOS.....	74
15.1.3.	SUELOS	74
15.1.4.	 AISLAMIENTOS.....	74



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
15.1.5.	PUERTAS INTERIORES	75
15.1.6.	PUERTAS EXTERIORES.....	75
15.1.7.	VENTANAS.....	76
15.1.8.	MOBILIARIO Y TAPICERÍA	77
15.2.	SERVICIOS DE FONDA Y HOTEL.....	77
15.2.1.	COCINA.....	77
15.2.2.	GAMBUZAS FRIGORÍFICAS	77
15.2.3.	GAMBUZA SECA	78
15.2.4.	LAVANDERÍA	78
16.	EQUIPOS SOBRE CUBIERTA DE TRABAJO	79
16.1.	PÓRTICO DE POPA	79
16.2.	GRÚAS 3 T - 15 M	79
16.3.	GRÚAS 15 T - 15 M	81
16.4.	GRÚA TELESCÓPICA 0,5 T - 22 M	81
16.5.	MAQUINILLA DE POPA	82
16.6.	TAMBOR DE RED	83
16.7.	ROV	83
16.8.	OTROS EQUIPOS	85
17.	LABORATORIOS	86
17.1.	LABORATORIO BIOLÓGICO	86
17.2.	LABORATORIO GEOLÓGICO.....	93
17.3.	LABORATORIO QUÍMICO	96
17.4.	LABORATORIO SECO	104
17.5.	LABORATORIO HÚMEDO	104
17.6.	LABORATORIO MULTIPROPÓSITO	106
17.7.	CENTRO DE CÁLCULO.....	107
17.8.	SALA DE CONTROL DEL ROV	108
17.9.	ROSETA CTD	108
18.	CONCLUSIONES.....	110



19.	BIBLIOGRAFÍA	111
------------	---------------------------	------------



INDICE DE FIGURAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Ilustración 1. Sistema de fondeo recomendado en función de EN, BV	18
	Ilustración 2. Estopor	20
	Ilustración 3. Sistema de fondeo recomendado en función de EN, BV	21
	Ilustración 4. Bita.....	22
	Ilustración 5. Gatera.....	23
	Ilustración 6. Cabirón y guiacabos	23
	Ilustración 7. Castillo de proa.....	24
	Ilustración 8. Balsa salvavidas	26
	Ilustración 9. Bote salvavidas	27
	Ilustración 10. Características separadora de sentinas.....	43
	Ilustración 11. Representación escora por pesos	48
	Ilustración 12. Toma de mar	50
	Ilustración 13. Generador de agua dulce	59
	Ilustración 14. Potabilizador de agua.....	59
	Ilustración 15. Incinerador de residuos.....	66
	Ilustración 16. ROV, modelo Jason.....	84
	Ilustración 17. Cabina de seguridad biológica.....	87
	Ilustración 18. Microscopio óptico con cámara	89
	Ilustración 19. Cuenta colonias	90
	Ilustración 20. Centrifugadora digital.....	91
	Ilustración 21. Autoclave.....	92
	Ilustración 22. Preparador de diluciones	93
	Ilustración 23. Durómetro.....	94
	Ilustración 24. Viscosímetro	95
	Ilustración 25. Colorímetro	96
	Ilustración 26. Luminómetro, espectrómetro y fluorímetro	97
	Ilustración 27. Conductímetro	98
	Ilustración 28. Reciclador térmico PCR	99
	Ilustración 29. Termosalinógrafo	100
	Ilustración 30. Valorador automático	101
	Ilustración 31. Lavadora termo-desinfectadora.....	102
	Ilustración 32. Placa agitadora calefactora	102
	Ilustración 33. Agitatubos	103
	Ilustración 34. Sistema CUFES.....	105
	Ilustración 35. Roseta CTD	109



INDICE DE TABLAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
Tabla 1.	Anclas y cadenas.....	18
Tabla 2.	Valor de k según diámetro de cadena.....	19
Tabla 3.	Líneas de remolque y amarre.....	22
Tabla 4.	Número de aros salvavidas según eslora.....	29
Tabla 5.	Iluminación interior.....	34
Tabla 6.	Diámetros comerciales de tubería.....	40
Tabla 7.	Bomba de sentinas.....	41
Tabla 8.	Bomba auxiliar de la separadora.....	44
Tabla 9.	Tipo de detector según área.....	49
Tabla 10.	Bomba contra incendios.....	52
Tabla 11.	Bomba agua dulce.....	61
Tabla 12.	Bomba agua dulce caliente.....	62
Tabla 13.	Características planta de tratamiento de aguas residuales.....	64
Tabla 14.	Bomba descarga aguas residuales (mar).....	65
Tabla 15.	Bomba descarga aguas residuales (tierra).....	65
Tabla 16.	Características incinerador de residuos.....	66
Tabla 17.	Caudales ventilación.....	68
Tabla 18.	Caudal recirculado y exterior.....	68
Tabla 19.	Sistema de aire acondicionado.....	70
Tabla 20.	Sistema de calefacción.....	71
Tabla 21.	Tipos de mamparos según SOLAS, 1.....	73
Tabla 22.	Tipos de mamparos según SOLAS, 2.....	73
Tabla 23.	Características maquinilla de popa.....	83
Tabla 24.	Características cabina de seguridad biológica.....	87
Tabla 25.	Características medidor de CO2.....	100
Tabla 26.	Bomba CUFES.....	106
Tabla 27.	Bomba agua muestreo continuo.....	106



1. INTRODUCCIÓN

Se van a definir a lo largo de este cuaderno todos los equipos del buque que no se hayan definido en cuadernos anteriores.

Se estudiarán los sistemas de fondeo a fin de conocer el número exacto de anclas o la longitud de cadena entre otras cosas, también los dispositivos de comunicación, de gobierno y de salvamento.

Se definirán asimismo las grúas a instalar y las diferentes bombas que no hayan quedado ya definidas en el cuaderno 7.

El sistema de ventilación, calefacción y aire acondicionado (HVAC por sus siglas en inglés) se diseña también.

Finalmente se decidirán diferentes elementos y dispositivos para los laboratorios oceanográficos que se consideren necesarios o relevantes, ofreciendo de esta manera una posible distribución de los mismos.



2. SERVICIOS DE GOBIERNO

2.1. PROPULSORES PRINCIPALES

El sistema de gobierno principal del buque consiste en el propio sistema propulsor, dos propulsores azimutales de Rolls Royce – Ulstein, modelo US 105, tal y como se estudió en el cuaderno 6.

La maniobrabilidad de este sistema es excepcional, no solo debido a que son dos líneas de ejes, además estos propulsores tienen la ventaja de poder rotar 360º sobre sí mismos, ofreciendo de esta manera una maniobrabilidad excepcional sin necesidad de instalar timones a popa.

2.2. PROPULSOR AUXILIAR

El propulsor auxiliar, al igual que los principales se definió en el cuaderno 6, para garantizar que el buque contaba con potencia suficiente durante la condición de máxima velocidad.

Se eligió un sistema de propulsión por impulsión de agua water-jet, en concreto el modelo Schottel Pump Jet modelo 520, de la compañía Schottel. Este modelo, además de proporcionar la potencia necesaria, gracias a su capacidad de rotación 360º puede proporcionar una maniobrabilidad extraordinaria al buque.

2.3. PROPULSORES TRANSVERSALES

Los propulsores transversales de proa se definieron también en el cuaderno 6, siendo dos unidades (debido al posicionamiento dinámico exigido DP 2), cuyas características ya calculadas se pueden ver en dicho cuaderno.

El modelo elegido es el STT 4, de la compañía Schottel.



3. EQUIPOS DE NAVEGACIÓN Y RADIOCOMUNICACIONES

Los equipos náuticos y de comunicaciones vienen estipulados en el reglamento SOLAS, capítulos IV y V.

3.1. EQUIPO NAVEGACIÓN

El equipo de navegación se define en el capítulo V del SOLAS

- Compás magnético magistral: Se instalará uno para la toma de rumbos situado en la parte superior de la caseta del timón del puente
- Compás magnético de gobierno: Dos, situados en la sala de control de máquinas con repetidores en la consola central y las consolas fijas en los alerones del puente
- Piloto automático: Se instalará un sistema de piloto automático con selector de rumbo y alarma de fuera de rumbo
- Girocompás, ya que el buque es mayor de 5000 t de AB SOLAS Capítulo V Reg.12 y efectuar viajes internacionales
- Repetidor giroscópico
- Ecosonda: Una con registrador y alarma de profundidad ajustable en la mesa de cartas más una pantalla digital por separado en la consola de maniobras de la caseta del timón. Estará situada en la parte plana del casco a proa
- Indicador de velocidad: (corredera): Será de tipo Doppler y estará compuesto por una pantalla de control principal en la consola del puente, una unidad de visualización en la mesa de cartas y el transductor, situado en la parte plana del casco a proa
- Sensores de posicionamiento: Se instalarán dos conjuntos de navegadores vía satélite (GPS) de tipo diferencial dispuestos en la mesa de cartas. El sistema visualizará longitud, latitud, GMT y velocidad
- Anemómetro: Dispositivo para medir la velocidad y dirección del viento compuesto por veleta, sensor de velocidad del viento y visualizador electrónico
- Sistema de planificación de ruta: El Sistema de Información y de Visualización de la Carta Electrónica (SIVCE) se utilizará para fines de navegación conectado con un Radar de Navegación GPS, EM-Log y Giro para visualizar la información. Mostrará información de navegación del propio buque (velocidad, posición, rumbo) y un sistema de Ayudas para el Ploteo Automático de Radar (ARPA) con datos tales como velocidad, distancia, rumbo, Punto de Aproximación Máxima (CPA) y el Tiempo Previsto para llegar al Punto de Aproximación Máxima (TCPA), así como información procedente del resto de los Radares de Navegación
- Faz de climatología: Receptor sobre climatología para reproducción de imágenes vía satélite



- Caja negra marítima: o VDR, formado por una unidad de recolección de datos (conectada a todos los equipos relevantes del buque), una de almacenamiento protegida (a la cual son transferidos los datos anteriores) y una de evaluación y reproducción (donde se descarga la información para su posterior reproducción). Se recogerán datos como: fecha y hora, posición del buque, velocidad del viento y del buque, rumbo, audio del puente, comunicaciones VHF, datos del radar, profundidad, alarmas obligatorias estipuladas por la IMO, DNV y Administraciones, datos de máquinas y estado de puertas (abierto/cerrado) exteriores y CI

Además se instalarán un Radar color de Banda S; un radar ARPA color de banda X.

La giroscópica irá conectada al piloto automático. Los radares, serán ambos de tipo ARPA.

3.2. EQUIPO DE COMUNICACIÓN INTERNO

Según el SOLAS Cap.II.1 regla 37 ha de haber por lo menos dos medios independientes para transmisión de órdenes desde el puente hasta la cámara de máquinas, siendo uno de ellos un telégrafo de máquinas.

El sistema está compuesto por:

- Sistema de órdenes y avisos con estaciones en el camarote del Comandante y del Jefe de Máquinas, comedores, cocina, salón y salón de oficiales. Contará también con estaciones exteriores en proa, popa y zona de embarcaciones.
- Sistema de telefonía.
- Radioteléfonos portátiles de VHF para comunicaciones interiores con baterías recargables para 12 horas con posibilidad de operación en todos los canales marinos de VHF
- Sistema de teléfonos autogenerados.

3.2.1. MEGAFONÍAS, TIMBRES Y ALARMAS

El sistema de megafonía que es preciso instalar podrá incorporar además la función de alarma general.

Se dispondrán altavoces en camarotes, salones, tripulación, maquinaria y zonas de servicio, incluyendo zonas de intemperie y allí donde lo exijan los reglamentos. Los altavoces llevarán la protección eléctrica apropiada dependiendo del local donde vayan a ser instalados, según las normas.

Existirá un panel central con amplificadores y micrófono en el puente de gobierno. Los paneles



llevarán también los siguientes interruptores:

- Alarma pulsante automática, se determinará tono intermitente, prefijado, tono tipo bocina
- Alarma fija automática, se determinará tono continuo, prefijado y tono tipo bocina
- Alarma manual para señales de Morse, con pulsador y luz piloto
- Micrófono de órdenes
- Timbre de llamada en el puente y cámara de máquinas
- Timbre de llamada general a la tripulación
- Timbre de llamada a la tripulación en salones y cocina
- Timbres generales de alarma, activado desde el puente

El sistema contará con un receptor AM/FM, un sistema de grabadoras en unidades de almacenamiento óptico y unos amplificadores y demás sistemas necesarios para poder cubrir todos los altavoces al 70 %.

3.2.2. OTROS EQUIPOS

De acuerdo a lo exigido por el SOLAS se instalarán los siguientes tifones:

- Un tifón accionado por aire en la proa de la chimenea. Irá equipado con electroválvula de doble accionamiento eléctrico, normal y emergencia
- Un tifón eléctrico situado en proa
- Un sistema de control eléctrico con control temporizador para señales de niebla y señales reglamentarias. Será posible la selección del tifón deseado, ambos por separado o combinados con la luz Morse

El control eléctrico de los tifones estará situado en el pupitre del puente.

Adicionalmente, en los alerones del puente, se colocarán pulsadores de control remoto.

Por último, para evitar problemas de visibilidad en el puente se instalará un sistema de limpiaparabrisas en los ventanales del puente, los cuales se controlarán mediante sendos interruptores en el propio puente de navegación. Además se instalará un sistema de limpieza de las ventanas que lleven limpiaparabrisas, el cual estará conectado al sistema de agua fría sanitaria a través de válvulas operadas desde el interior del puente de navegación.

3.3. EQUIPO DE COMUNICACIÓN EXTERNO

De acuerdo con el Capítulo IV: “Radiocomunicaciones” del Convenio “SOLAS”, todo buque mercante de más de 300 GT construido a partir del 1 de febrero de 1995 debe llevar instalado un sistema GMDSS (“Global Maritime Distress and Safety at Sea”). El principal propósito de este sistema es la garantía real de las comunicaciones de los barcos que lo lleven instalado con las estaciones de tierra, en cualquier momento, en cualquier posición, y en caso de socorro, para facilitar toda la información (posición, naturaleza del siniestro, hora, etc.) acerca del



siniestro de forma automática, mediante radio y/o satélite.

El GMDSS, en función de la navegación del buque, crea unas zonas limitadas por los equipos que debe llevar el buque. Estas son:

- Zona A1: Área con cobertura de al menos una estación costera de VHF que disponga de un sistema continuo de alerta DSC o LSD ("Digital Selective Calling" o Llamada Selectiva Digital). La cobertura de una estación costera de VHF es de 20 a 30 millas.
- Zona A2: Área, excluyendo la zona A1, con cobertura de al menos una estación costera de MF (Onda Media) que disponga de un sistema continuo de alerta DSC. Cubre unas 150 millas desde la estación costera.
- Zona A3: Área, excluyendo las zonas A1 y A2, con cobertura de un satélite geoestacionario de INMARSAT que dispone de un sistema continuo de alerta. Cubre prácticamente todas las zonas de navegación a excepción de las polares y otras zonas donde no es posible mantener una comunicación continua a través de Inmarsat.
- Zona A4: Es el área que queda fuera de las zonas A1, A2 y A3, es decir las zonas polares, y las zonas por encima y por debajo de la latitud 70°, en las cuales no hay cobertura de los satélites Inmarsat.

El presente buque en principio navegará por las zonas A1, A2 y A3, puesto que no tiene capacidad rompehielos necesaria para la zona de navegación A4.

El equipo de radiocomunicaciones para cumplir con GMDSS constará de:

- NAVTEX
- Radiobaliza de localización de siniestros por satélite
- INMARSAT
- Consola GMDSS
 - Dos radioteléfonos VHF-DSC
 - Un radioteléfono SSB-MF/HF
 - Tres radioteléfonos portátiles VHF-GMDSS
 - Estación INMARSAT Standard-C
 - IRIDIUM
 - Un sistema de alimentación de emergencia GMDSS
 - Panel de estado de batería y alarmas
- Radioteléfono VHF, banda aeronáutica para comunicación con aeronaves con operaciones de salvamento

Se estima un consumo de comunicación externo del orden de 10 kW.



3.3.1. EQUIPOS ACÚSTICOS

Los buques de eslora igual o superior a 12 m irán dotados de un pito y de una campana, y los buques de eslora igual o superior a los 100 m llevarán además un gong, cuyo tono y sonido no pueda confundirse con el de la campana. El pito, la campana y el gong deberán cumplir con las especificaciones del Anexo III de este Reglamento. La campana o el gong, o ambos, podrán ser sustituidos por otro equipo que tenga las mismas características sonoras respectivamente, a condición de que siempre sea posible hacer manualmente las señales sonoras reglamentarias.

En nuestro caso se dispondrá un pito y una campana.



4. SERVICIOS DE FONDEO Y AMARRE

4.1. NUMERAL DE EQUIPO

De acuerdo a la normativa vigente de Bureau Veritas, Parte B, Capítulo 10, Sección 4, apartado 2.1.2, el numeral de equipo EN se define como:

$$EN = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2 \cdot h \cdot B + 0,1 \cdot A$$

Donde:

- Δ , es el desplazamiento en toneladas.
- h , la altura efectiva en metros, desde la línea de carga de verano hasta la superestructura más alta. Para esta altura solo se tienen en cuenta las superestructuras con manga menor de B/4.
- A , el área longitudinal del casco y superestructuras con manga menor de B/4 que se encuentran sobre la línea de carga de verano.

De esta manera el numeral de equipo del presente proyecto resulta:

$$EN = 7000^{\frac{2}{3}} + 2 \cdot 17 \cdot 18,15 + 0,1 \cdot 458,2 = 1028,8$$

4.2. FONDEO

El equipo de fondeo se define por los elementos que se definen a continuación, siempre de acuerdo al reglamento de la sociedad de clasificación estipulada para el proyecto, Bureau Veritas.

4.2.1. ANCLAS Y CADENAS

Con el numero calculado en el apartado anterior, EN se entra en las tablas de BV para obtener el número de anclas y sus pesos, así como la longitud y diámetro de las cadenas.



Equipment number EN A < EN ≤ B		Stockless bower anchors		Stud link chain cables for bower anchors			
A	B	N (1)	Mass per anchor, in kg	Total length in m	Diameter, in mm		
					Q1	Q2	Q3
50	70	2	180	220,0	14,0	12,5	
70	90	2	240	220,0	16,0	14,0	
90	110	2	300	247,5	17,5	16,0	
110	130	2	360	247,5	19,0	17,5	
130	150	2	420	275,0	20,5	17,5	
150	175	2	480	275,0	22,0	19,0	
175	205	2	570	302,5	24,0	20,5	
205	240	3	660	302,5	26,0	22,0	20,5
240	280	3	780	330,0	28,0	24,0	22,0
280	320	3	900	357,5	30,0	26,0	24,0
320	360	3	1020	357,5	32,0	28,0	24,0
360	400	3	1140	385,0	34,0	30,0	26,0
400	450	3	1290	385,0	36,0	32,0	28,0
450	500	3	1440	412,5	38,0	34,0	30,0
500	550	3	1590	412,5	40,0	34,0	30,0
550	600	3	1740	440,0	42,0	36,0	32,0
600	660	3	1920	440,0	44,0	38,0	34,0
660	720	3	2100	440,0	46,0	40,0	36,0
720	780	3	2280	467,5	48,0	42,0	36,0
780	840	3	2460	467,5	50,0	44,0	38,0
840	910	3	2640	467,5	52,0	46,0	40,0
910	980	3	2850	495,0	54,0	48,0	42,0
980	1060	3	3060	495,0	56,0	50,0	44,0
1060	1140	3	3300	495,0	58,0	50,0	46,0
1140	1220	3	3540	522,5	60,0	52,0	46,0
1220	1300	3	3780	522,5	62,0	54,0	48,0
1300	1390	3	4050	522,5	64,0	56,0	50,0
1390	1480	3	4320	550,0	66,0	58,0	50,0
1480	1570	3	4590	550,0	68,0	60,0	52,0
1570	1670	3	4890	550,0	70,0	62,0	54,0

(1) See [3.2.4].

Ilustración 1. Sistema de fondeo recomendado en función de EN, BV

Como el valor está entre A = 980 y B = 1060, se elegirán 3 anclas de leva sin cepo (una de respeto sobre cubierta), y la cadena de calidad Q2. A continuación se resumen los valores:

Anclas de proa		Cadenas	
Número	Masa por ancla (kg)	Longitud (m)	Diámetro (mm)
3	3060	495	50

Tabla 1. Anclas y cadenas

Sabiendo que el valor estandarizado de los largos de cadena son 27,5 metros podremos conocer el número de largos de cadena como $495/27,5 = 18$ largos.

El peso de la cadena puede estimarse como:

$$P_C = 0,02 \cdot d_c^2 \cdot L = 0,02 \cdot 50^2 \cdot 495 = 24750 \text{ kg}$$



4.2.2. CAJA DE CADENAS

La caja de cadenas quedó definida en el cuaderno 4, incluyendo márgenes de drenaje y caída de cadenas, resultando un volumen total de 13 m³.

4.2.3. ESCOBÉN

Se dispondrán dos escobenes, uno por banda del buque, para evitar daños en el casco durante la operación de izado o largado del ancla.

El diámetro de estos escobenes puede ser estimado de diversas maneras, por ejemplo a partir de la relación siguiente:

$$D_e = d_c \cdot k = 50 \cdot 9,5 = 475 \text{ mm}$$

Siendo k un valor en función del diámetro de la cadena entre los dos valores de la tabla, y el tercer valor el correspondiente a este caso tras interpolar.

d (mm)	25	100	50
k	10.4	7.5	9.5

Tabla 2. Valor de k según diámetro de cadena

4.2.4. MOLINETES

Se van a situar dos molinetes eléctrico, uno por banda y alineados con los escobenes para el correcto izado de las anclas.

De acuerdo a lo recomendado por la sociedad de clasificación, la velocidad de izado media estará en torno a 9 o 10 metros por minuto, y en base a esto calculo la potencia como sigue:

$$P = \frac{0,87 \cdot (P_c + P_a) \cdot v \cdot e}{60 \cdot 75 \cdot r} \text{ CV}$$

Siendo

- P_c, el peso de la cadena, 24750 kg
- P_a, el peso del ancla fuera del agua, 3060 kg

- v , la velocidad de izado, 10 min/s
- e , el poder de agarre del ancla, que se toma enter 1,5 y 2,5; elegiremos 2.
- R , el rendimiento mecánico del molinete, siendo un valor lógico 0,6

Luego:

$$P = \frac{0,87 \cdot (24750 + 3060) \cdot 10 \cdot 2}{60 \cdot 75 \cdot 0,6} = 179,22 \text{ CV} = 133,64 \text{ kW}$$

4.2.5. ESTOPOR Y BOZAS DE CADENAS

Se van a instalar dos estopores, uno por línea de cadenas de anclas, entre el molinete y el escobén de cada banda.

El estopor será de rodillos, siendo capaz de retener la cadena tanto en navegación como durante el fondeo, evitando así que la tensión de la misma se ejerza directamente sobre el molinete.

Los estopores deben ser capaces de soportar al menos el 80% de la rotura por tensión, sin deformación permanente, en ninguno de sus elementos o partes.

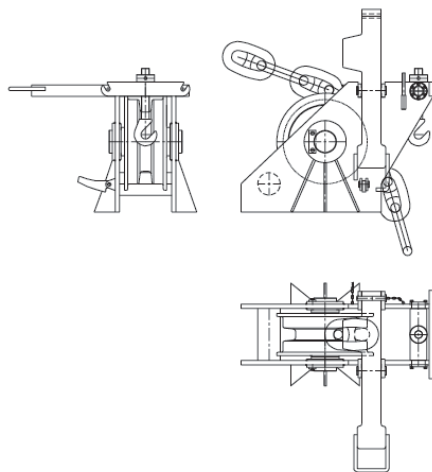


Ilustración 2. Estopor

Debido a la dificultad en algunos casos de fijar bien el ancla cuando se encuentra estibada en el túnel del escobén se instalará una boza de cadena, fija en cubierta por un extremo, y con una mordaza en el extremo libre capaz de trincar un eslabón de la cadena previo al estopor, afirmando la cadena mediante un tensor.



4.3. AMARRE

4.3.1. CABLES DE REMOLQUE Y AMARRAS

De acuerdo al numeral de equipo EN definido en apartados anteriores, Bureau Veritas recomienda valores para los cables de remolque y amarre de acuerdo a la siguiente tabla:

Equipment number EN A < EN ≤ B		Towline (1)		Mooring lines (1)		
A	B	Minimum length, in m	Breaking load, in kN	N (2)	Length of each line, in m	Breaking load, in kN
50	70	180	98,1	3	80	34
70	90	180	98,1	3	100	37
90	110	180	98,1	3	110	39
110	130	180	98,1	3	110	44
130	150	180	98,1	3	120	49
150	175	180	98,1	3	120	54
175	205	180	112	3	120	59
205	240	180	129	4	120	64
240	280	180	150	4	120	69
280	320	180	174	4	140	74
320	360	180	207	4	140	78
360	400	180	224	4	140	88
400	450	180	250	4	140	98
450	500	180	277	4	140	108
500	550	190	306	4	160	123
550	600	190	338	4	160	132
600	660	190	371	4	160	147
660	720	190	406	4	160	157
720	780	190	441	4	170	172
780	840	190	480	4	170	186
840	910	190	518	4	170	201
910	980	190	550	4	170	216
980	1060	200	603	4	180	230
1060	1140	200	647	4	180	250
1140	1220	200	692	4	180	270
1220	1300	200	739	4	180	284
1300	1390	200	786	4	180	309
1390	1480	200	836	4	180	324
1480	1570	220	889	5	190	324
1570	1670	220	942	5	190	333
1670	1790	220	1024	5	190	353
1790	1930	220	1109	5	190	378
1930	2080	220	1168	5	190	402
2080	2230	240	1259	5	200	422
2230	2380	240	1356	5	200	451
2380	2530	240	1453	5	200	481

Ilustración 3. Sistema de fondeo recomendado en función de EN, BV

Los valores que se recomendarían por tanto para el caso de este proyecto serían los recogidos a continuación.

Línea de remolque		Líneas de amarre		
Longitud mínima (m)	Carga de rotura (kN)	Número	Longitud (m)	Carga de rotura (kN)
200	603	4	180	230

Tabla 3. Líneas de remolque y amarre

4.3.2. ELEMENTOS DE AMARRE

Los elementos de amarre empleados serán bitas, gateras, guiacabos y cabirones.

Estos elementos se dispondrán en la proa y la popa del buque de la siguiente manera:

- Bitas: Para afianzar los cabos, se escogerán las bitas de tal forma que puedan soportar la carga de rotura de las líneas de amarre previamente estimada, es decir 230 kN.
 - Dos bitas de amarre y dos bitas de remolque en proa, una de cada tipo por banda.
 - Dos bitas en popa, una por banda, que se utilizarán tanto para amarre como para remolque.

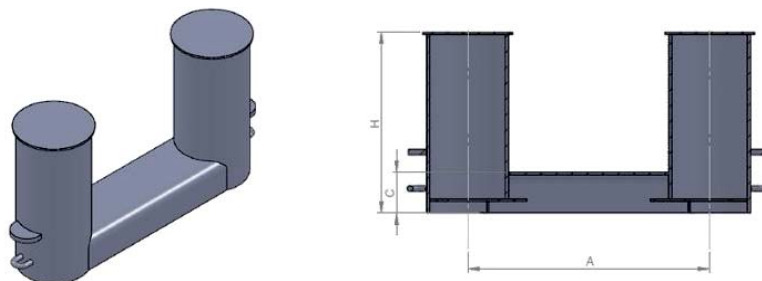


Ilustración 4. Bita

- Gateras: Para guiar las amarras desde el punto donde se han afianzado hasta las bitas.
 - Cuatro en proa, dos por banda correspondientes a las bitas, para el amarre.
 - Una gatera de remolque en crujía a proa.
 - Dos en popa, una por banda, correspondientes a las bitas, para el amarre.
 - Dos gateras de remolque en popa a ambas bandas, sobre el espejo de popa.



Ilustración 5. Gatera

- Guiacabos y cabirones: para facilitar las operaciones con los cabos.
 - Se instalarán los necesarios correspondientes a los elementos previamente definidos.



Ilustración 6. Cabirón y guiacabos

4.3.3. CASTILLO DE PROA

En el castillo de proa se pueden observar los dispositivos de amarre instalados y los sistemas para operarlos.

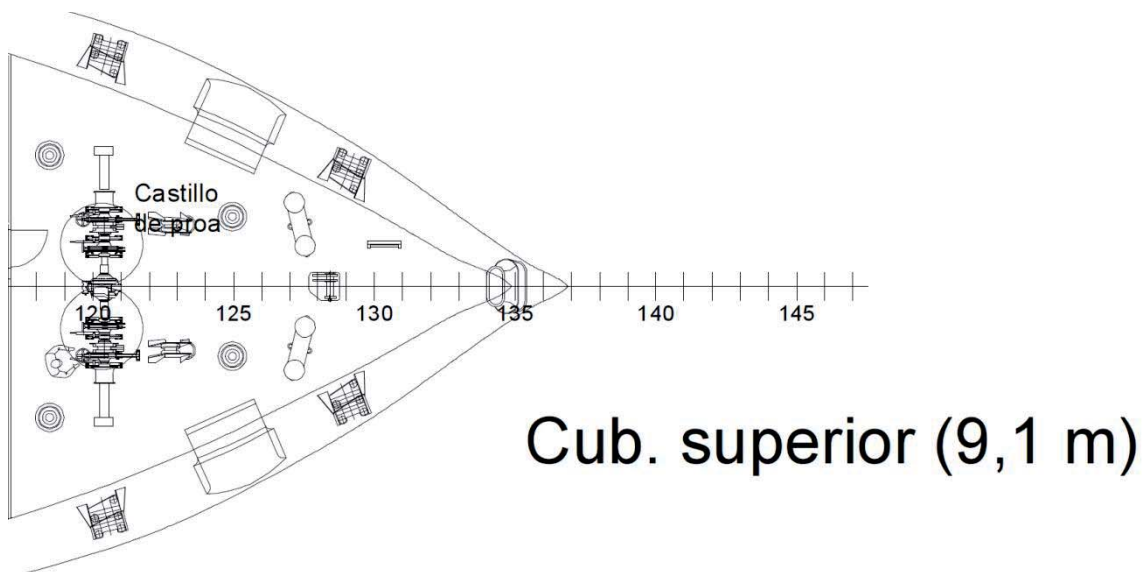


Ilustración 7. Castillo de proa

4.3.4. MAQUINILLAS DE AMARRE

Para el amarre en proa se van a utilizar los molinetes de las anclas, ya que normalmente no se usarán ambos dispositivos al mismo tiempo, y la potencia de estos es suficiente para el amarre, que en general exige una potencia menor.

El amarre en popa, a fin de no entorpecer la cubierta de trabajo se realizará de manualmente, ayudado por los versátiles sistemas de propulsión instalados, que pueden ofrecer una maniobrabilidad excelente.



5. EQUIPO DE SALVAMENTO

Todos los dispositivos y equipos de salvamento se han estudiado y colocado de acuerdo a lo estipulado en el capítulo III del convenio SOLAS.

De acuerdo a las características del buque se va a considerar a todos los efectos un buque de pasaje, ya que lleva personal especial a bordo, y el número total de personas es superior a 50, ya que hay 25 miembros de la tripulación, 50 científicos y un médico, lo que suma 76 personas a bordo.

5.1. EMBARCACIONES DE SUPERVIVENCIA

De acuerdo al C.3, parte B, S. I, R. 13, P. 1 del SOLAS:

“1.1 Los buques de pasaje destinados a viajes internacionales que no sean viajes internacionales cortos llevarán:

.1 botes salvavidas total o parcialmente cerrados que cumplan lo prescrito en las secciones 4.5 ó 4.6 del Código y cuya capacidad conjunta en cada banda baste para dar cabida al 50% por lo menos del número total de personas que vayan a bordo. La Administración podrá permitir que se sustituyan botes por balsas salvavidas de una capacidad total equivalente, a condición de que a cada banda del buque no haya nunca menos botes que los necesarios para dar cabida al 37,5 % del número total de personas que vayan a bordo. Las balsas salvavidas inflables o rígidas cumplirán lo prescrito en las secciones 4.2 ó 4.3 del Código y dispondrán de dispositivos de puesta a flote distribuidos por igual a cada banda del buque; y

.2 además, balsas salvavidas inflables o rígidas que cumplan lo prescrito en las secciones 4.2 ó 4.3 del Código y cuya capacidad conjunta baste para dar cabida al 25 % por lo menos del número total de personas que vayan a bordo. Estas balsas salvavidas dispondrán al menos de un dispositivo de puesta a flote a cada banda; estos dispositivos podrán ser los provistos de conformidad con el párrafo 1.1.1 u otros dispositivos equivalentes aprobados que puedan utilizarse a ambas bandas. No obstante, no será necesario que para la estiba de estas balsas salvavidas se cumpla lo prescrito en la regla 13.5.”

Se instalarán por tanto balsas salvavidas con capacidad para al menos el 75 % de las personas a bordo en cada banda, es decir: $0,75 \cdot 76 = 57$ personas por banda, que se repartirán en cuatro balsas salvavidas de 16 personas de capacidad cada una.

El modelo elegido será:

Balsa lanzable salvavidas SOLAS de Duarry, en paquetes cilíndricos, con capacidad para 16 personas, cuyo peso unitario es 110 kg.



Ilustración 8. Balsa salvavidas

Adicionalmente, se dispondrán dos botes salvavidas, uno por banda, con capacidad para el 37,5 % de las personas a bordo cada uno, es decir para $0,375 \cdot 76 = 28,5 \sim 29$ personas. Dichos botes salvavidas serán considerados como botes de rescate y se definirán en el punto siguiente.

5.2. BOTES DE RESCATE

De acuerdo al C.3, parte B, S. II, R. 21, P. 2 del SOLAS:

“2.1 Los buques de pasaje de arqueo bruto igual o superior a 500 llevarán a cada banda al menos un bote de rescate que cumpla lo prescrito en la sección 5.1 del Código.”

Como se ha explicado en el punto anterior, los botes salvavidas serán los que tengan la capacidad de bote de rescate, habrá dos, uno por banda con una capacidad de al menos 29 personas cada bote.

Se ha elegido un modelo de 36 personas por banda, completamente cerrado y con un peso en vacío de 2845 kg cada uno.



Ilustración 9. Bote salvavidas

Estos botes de rescate se operarán con pescante, el cual se define en el punto siguiente.

5.3. PESCANTE

De acuerdo al C.3, parte B, S. II, R. 23, P. 1 y 2 del SOLAS:

“1 En los buques de pasaje, los medios de embarco en las embarcaciones de supervivencia se proyectarán de modo que:

.1 se embarque en todos los botes salvavidas y éstos se pongan a flote directamente desde su posición de estiba o desde una cubierta de embarco, pero no desde ambas; y

.2 se embarque en las balsas salvavidas de pescante y éstas se pongan a flote desde un lugar contiguo a su posición de estiba o desde un lugar al que, de conformidad con lo prescrito en la regla 13.5, se traslade la balsa antes de su puesta a flote.

2 Los medios de embarco en los botes de rescate serán tales que permitan embarcar en éstos y ponerlos a flote directamente desde su posición de estiba con el número de personas a bordo que tengan que llevar como dotación. No obstante lo prescrito en el párrafo 1.1, si el bote de rescate es también un bote salvavidas y el embarco en los otros botes salvavidas y su puesta a flote se efectúan desde una cubierta de embarco, los medios de embarco en el bote de rescate



serán tales que también se pueda embarcar en él y ponerlo a flote desde la cubierta de embarco.”

De acuerdo a lo recomendado por el fabricante, se escogerá un modelo con capacidad de 67 kN, para botes de capacidad superior a 30 personas pero inferior a 40.

Se escogerá entonces el modelo PLG Series, de Palfinger, que está diseñado para unos valores entre 60 y 120 kN, por gravedad.

5.4. ESCALA DE EMBARQUE

De acuerdo al C.3, parte B, S. II, R. 11, P. 7 del SOLAS:

“7 Para cada puesto de embarco de las embarcaciones de supervivencia que se arrien por el costado del buque, o para cada dos de estos puestos que sean adyacentes, se proveerá una escala de embarco de un solo tramo que cumpla lo prescrito en el párrafo 6.1.6 del Código y que llegue desde la cubierta hasta la flotación de navegación marítima con calado mínimo, en todas las condiciones, con un asiento de hasta 10° y una escora de hasta 20° a una u otra banda. No obstante, la Administración podrá permitir la sustitución de tales escalas por dispositivos aprobados que den acceso a la embarcación de supervivencia cuando ésta esté a flote, a condición de que haya al menos una escala de embarco en cada costado del buque. Podrán autorizarse otros medios de embarco que permitan el descenso hasta el agua de forma ordenada para las balsas salvavidas prescritas en la regla 31.1.4.”

Una escala de embarco en cada puesto de puesta a flote o una para dos puestos adyacentes.

5.5. AROS SALVAVIDAS

De acuerdo al C.3, parte B, S. I, R. 7, P. 1 del SOLAS:

“1 Aros salvavidas

1.1 Los aros salvavidas, que cumplirán lo prescrito en el párrafo 2.1.1 del Código, irán:

.1 distribuidos de modo que estén fácilmente disponibles a ambas bandas del buque, y, en la medida de lo posible, en todas las cubiertas expuestas que se extiendan hasta el costado del buque; habrá por lo menos uno en las proximidades de la popa; y

.2 estibados de modo que sea posible soltarlos rápidamente y no estarán sujetos de ningún



modo por elementos de fijación permanente.

1.2 A cada banda del buque habrá como mínimo un aro salvavidas provisto de una rabiza flotante que cumpla lo prescrito en el párrafo 2.1.4 del Código, de una longitud igual por lo menos al doble de la altura a la cual vaya estibado por encima de la flotación de navegación marítima con calado mínimo, o a 30 m, si este valor es superior.

1.3 La mitad al menos del número total de aros salvavidas estarán provistos de luces de encendido automático que cumplan lo prescrito en el párrafo 2.1.2 del Código; al menos dos de estos aros llevarán también señales fumígenas de funcionamiento automático que cumplan lo prescrito en el párrafo 2.1.3 del Código y se podrán soltar rápidamente desde el puente de navegación; los aros salvavidas provistos de luces y los provistos de luces y de señales fumígenas irán distribuidos por igual a ambas bandas del buque y no serán aquellos que estén provistos de rabiza de conformidad con lo prescrito en el párrafo 1.2.

1.4 En cada aro salvavidas se marcará con letras mayúsculas del alfabeto romano el nombre del buque que lo lleve y su puerto de matrícula.”

El número total de aros salvavidas viene especificado en la tabla correspondiente al C.3, parte B, S. II, R. 22, P. 1 del SOLAS:

Eslora del buque en metros	Número mínimo de aros salvavidas
Menos de 60	8
de 60 a menos de 120	12
de 120 a menos de 180	18
de 180 a menos de 240	24
240 o más	30

Tabla 4. Número de aros salvavidas según eslora

Se tendrán por lo tanto, al ser un buque mayor de 60 pero menor de 120 metros de eslora, 12aros salvavidas, 6 por banda:

- 2 de los aros deben tener una rabiza flotante de 30 m
- 6 tendrán señal luminosa
- 2 contarán con señal luminosa fumígena
- 2 serán normales



5.6. CHALECOS SALVAVIDAS

De acuerdo al C.3, parte B, S. I, R. 7, P. 2 del SOLAS:

“2 Chalecos salvavidas

2.1 Para cada una de las personas que vayan a bordo se proveerá un chaleco salvavidas que cumpla lo prescrito en los párrafos 2.2.1 ó 2.2.2 del Código y, además:

.4 un número suficiente de chalecos salvavidas para las personas encargadas de la guardia y para utilizarlos en los puestos de embarcaciones de supervivencia alejados. Los chalecos salvavidas destinados a las personas encargadas de la guardia se estibarán en el puente, la cámara de control de máquinas y cualquier otro puesto que tenga dotación de guardia;”

Y de acuerdo al C.3, parte B, S. II, R. 22, P. 2 del SOLAS

“2 Chalecos salvavidas

2.1 Además de los chalecos salvavidas prescritos en la regla 7.2, todo buque de pasaje llevará chalecos salvavidas para el 5% al menos del número total de personas que vayan a bordo. Estos chalecos irán estibados en cubierta o en los puestos de reunión, en lugares bien visibles.”

Se van a disponer entonces 75 chalecos para tripulación y personal científico, más un 5% más ocho chalecos extra para los que estén de guardia, es decir $75+4+8 = 87$ chalecos salvavidas.

5.7. TRAJES DE INMERSIÓN

De acuerdo al C.3, parte B, S. I, R. 7, P. 3 del SOLAS:

“4 Trajes de inmersión y ayudas térmicas

4.1 Todos los buques de pasaje llevarán, por cada bote salvavidas que haya a bordo. Al menos tres trajes de inmersión que cumplan lo prescrito en la sección 2.3 del Código y, además, una ayuda térmica que cumpla lo prescrito en la sección 2.5 del Código para cada una de las personas que haya de ir en el bote salvavidas y para la cual no se haya provisto un traje de inmersión.”

Se dispondrán pues, 6 trajes de inmersión, ya que son 2 botes salvavidas los que llevará el buque.



5.8. APARATOS LANZACABOS

Llevará un aparato lanzador orientable que será capaz de lanzar un cabo a una distancia de al menos 230 m con una precisión aceptable, incluyendo un mínimo de cuatro cohetes y cuatro cabos.

5.9. RADIOTELÉFONOS BIDIRECCIONALES

De acuerdo al C.3, parte B, S. I, R. 6, P. 2.1.1 del SOLAS:

“En todo buque de pasaje y en todo buque de carga de arqueo bruto igual o superior a 500 se proveerán por lo menos tres aparatos radiotelefónicos bidireccionales de ondas métricas.”

Luego se dispondrán tres radioteléfonos bidireccionales a bordo.

5.10. DISPOSITIVO DE LOCALIZACIÓN DE BÚSQUEDA Y SALVAMENTO

De acuerdo al C.3, parte B, S. I, R. 6, P. 2.2 del SOLAS:

“Todo buque de pasaje y todo buque de carga de arqueo bruto igual o superior a 500 llevará por lo menos un dispositivo de localización de búsqueda y salvamento a cada banda”

Es decir se instalarán dos respondedores de radar.

5.11. SEÑALES DE SOCORRO

De acuerdo al C.3, parte B, S. I, R. 6, P. 3 del SOLAS:

“Se llevarán por lo menos 12 cohetes lanza bengalas con paracaídas que cumplan lo prescrito en la sección 3.1 del Código, estibados en el puente de navegación o cerca de éste.”

Se cumplirá con lo establecido en el reglamento.

5.12. BANDERAS Y CÓDIGO DE SEÑALES

Se debe proveer de juegos de banderas y publicaciones del Código Internacional de Señales, de la O.M.I. y editado por la Subsecretaría de la Marina Mercante, Volumen I del Código y banderas de tamaño nº 2 (1,676 x 1.372).



5.13. TABLA DE SEÑALES DE SALVAMENTO

El buque llevará un ejemplar de cada una de las Tablas A y B en el puente, protegidas por un marco con cristal y un ejemplar de las tablas B en cada balsa de salvamento, estibadas con el resto del equipo.

5.14. BOTIQUÍN

Se llevará a bordo un botiquín tipo A y una guía médica.

5.15. GUÍA SANITARIA

El buque dispondrá a bordo de la “Guía Sanitaria a Bordo”, publicada por el I.S.M. s/O.M. de 9 de Octubre de 1.978.



6. SISTEMA DE ILUMINACIÓN

El sistema de iluminación se divide en la iluminación propia del buque, y en la iluminación correspondiente a las luces de navegación.

6.1. ILUMINACIÓN GENERAL

El diseño y cálculo del alumbrado del buque se encuentra en el cuaderno 9, incluyendo el tipo de luces y potencia consumida para asegurar los requisitos de iluminación mínimos.

6.1.1. ILUMINACIÓN EXTERIOR

La iluminación exterior se dispondrá con luces fluorescentes y halógenas, de tal manera que el tránsito por el buque sea suficientemente seguro en cuanto a iluminación sin ayuda de agentes luminosos externos.

Además se instalarán focos de potencia suficiente para permitir el trabajo sobre la cubierta o iluminación de la superficie marina en cualquier condición, por ejemplo durante la operación del ROV, el rescate de algún naufrago o el abandono del propio buque.

Se van a instalar 5 focos, de 1,5 kW cada uno, de la siguiente manera:

- 1 en el castillo de proa
- 2 a proa de la cubierta de trabajo, sobre el hangar
- 2 a popa cerca de las grúas sin entorpecerlas.

De forma adicional se iluminará la cubierta de trabajo con lámparas incandescentes cada 4 metros por si se necesitasen los focos para otras labores o bien fallasen por causas externas.



6.1.2. ILUMINACIÓN INTERIOR

El alumbrado interior se describe en el cuaderno 9, como queda resumido en la tabla siguiente:

Iluminación interior				
Local	E (lux)	S (m2)	η_L	Potencia (kW)
Puente	700	267.8	50	9.37
Pasillos	100	1002.9	50	5.01
Camarotes	200	1155.5	50	11.56
Cámara de máquinas	400	606.4	50	12.13
Local de emergencia	400	114.3	50	2.29
Taller	800	23.1	50	0.92
Locales aux. CCMM	700	285.2	50	9.98
Salas de estar	400	160.3	50	3.21
Comedores	350	144.7	50	2.53
Hospital y enfermería	800	33.9	50	1.36
Oficinas	600	85.9	50	2.58
Baños	150	90.3	50	0.68
Paños	100	78.1	50	0.39
Cocina	200	96.1	50	0.96
Gambuzas	100	59.9	10	1.50
Laboratorios	800	242.9	50	9.72
Hangar	400	409.6	50	8.19
Sala de proyecciones	500	34.7	50	0.87
Biblioteca	500	41.9	50	1.05
Castillo de proa	400	74.2	50	1.48
Lavandería	200	23.6	50	0.24
Gimnasio y vestuarios	400	51.2	50	1.02
Sauna	150	15.6	10	0.59
Suma				87.61

Tabla 5. Iluminación interior

6.1.3. ILUMINACION DE EMERGENCIA

Se dispondrán luces incandescentes situadas en los lugares vitales del buque, que se alimentarán de un grupo de baterías de 24V, que podrá mantener los puntos del alumbrado de emergencia durante 3 horas como mínimo. Estas luces se encenderán automáticamente al faltar la alimentación general a 230 V.



Todas las líneas y cuadros de estos servicios serán independientes del sistema de alumbrado general e irán rotuladas claramente. En el puente se dispondrá el cuadro de alumbrado de emergencia y un cargador de baterías alimentado a 230V.

Los servicios luminosos que debe asegurar son:

- Luces de navegación
- Estación de radio
- Pasillos y escaleras
- Salidas de compartimentos estancos
- Puntos de reunión para el embarque de botes
- Proyector en la zona de botes
- Indicadores de rutas de escape
- Compartimentos del generador de emergencia
- Además de permitir una iluminación reducida de:
 - Cámara de máquinas
 - Puente de gobierno

6.1.4. ILUMINACIÓN EN EL PUENTE

Se deberá suministrar un nivel de luz que permita desarrollar cualquier tarea, tanto en navegación como en puerto, a cualquier hora del día. Para ello dispondremos dos tipos de iluminación: nocturna y de mantenimiento. Su distribución evitará el deslumbramiento sobre los indicadores e instrumentos de medición de las mesas.

Iluminación nocturna: Lámparas incandescentes de color rojo, sombreadas en negro mate u otro material anti reflectante, para los puestos de trabajo.

Iluminación de mantenimiento: Lámparas fluorescentes de color blanco.

Se dispondrá, asimismo, de iluminación sobre las mesas de cartas de navegación mediante lámparas extensibles con dispositivo de regulación de intensidad lumínica.

6.2. LUCES DE NAVEGACIÓN

Las luces de navegación se van a diseñar de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento Internacional para Prevenir Abordajes en la mar (RIPA), parte C.

Se tendrá en cuenta que el buque es de más de 50 metros y propulsión mecánica.



6.2.1. LUZ DE TOPE

A proa, llevará una luz blanca brillante, dispuesta de manera que proyecte su luz sin interrupción en un sector de horizonte de 20 cuartas de la rosa (225 grados), 10 cuartas a cada banda del buque. Esta luz será visible con noche oscura y una atmósfera clara, por lo menos desde 5 millas. Esta luz estará a una distancia mínima sobre el casco de 12,00 m y a menos de un cuarto de la eslora total desde proa.

6.2.2. LUCES DE COSTADO

En el alerón de la cubierta puente en estribor, llevará una luz verde, dispuesta de manera que se proyecte de un modo ininterrumpido en un sector del horizonte de 10 cuartas de la rosa (112,5 grados). Esta luz será visible a una distancia de 2 millas, como mínimo, y situada a una altura menor de tres cuartos de la altura a la que se haya situado la luz de tope de proa.

En el costado de babor, llevará una luz roja de las mismas características que las indicadas para el costado de estribor en el párrafo previo.

6.2.3. LUZ DE ALCANCE

Este buque, cuando esté en movimiento, llevará a popa una luz blanca provista de pantallas y construida e instalada de modo que se proyecte en forma ininterrumpida sobre un sector del horizonte de 12 cuartas de la rosa (135 grados), o sea, 6 cuartas (67,50º) a cada banda a partir de la popa. Esta luz será visible a una distancia mínima de 2 millas y se colocará lo más cerca posible de la popa.

6.2.4. LUZ DE SIN GOBIERNO

Este buque, cuando esté sin gobierno, llevará de noche y en el palo del puente, dos luces rojas, dispuestas verticalmente con una separación mínima entre ellas de 2,00 m, de modo que sean visibles en todas las direcciones desde una distancia de 3 millas por lo menos; de día dos bolas negras de 0,60 m de diámetro, separadas verticalmente 1,50 m entre ellas como mínimo.



6.2.5. LUZ DE FONDEO Y VARADA

Este buque, cuando esté fondeado, llevará de noche en el palo de proa una luz blanca visible en todo el horizonte desde una distancia mínima de 3 millas a más de 6 m sobre el casco, y otra luz blanca en popa igual a la anterior y a una altura inferior a 4,5 m a la luz de proa.

De día y cuando esté fondeado, llevará en la parte de proa y donde mejor se vea, una bola negra con un diámetro no inferior a 0,60m.

Cuando este varado, llevará de noche las luces prescritas en el apartado de “Buque fondeado”, así como las dos luces rojas prescritas en el apartado de “luces sin gobierno”.

De día y cuando esté varado, llevará en el palo de proa tres bolas negras con un diámetro no inferior a 0,60 m, colocados en línea vertical uno sobre el otro y separados a una distancia no inferior a 1,50 m.

6.2.6. LUZ DURANTE LABORES OCEANOGRÁFICAS DE PESCA

Este buque, por estar preparado para la pesca de arrastre, es decir, remolcando a través del agua redes de arrastre u otras artes de pesca, llevará dos luces todo horizonte en una línea vertical, una sobre la otra, con una separación mínima de 2 m. La más alta de estas luces será verde y la más baja blanca.

Además llevará una luz de tope a popa y más elevada que la luz verde todo horizonte.

Durante el día llevará una marca consistente en dos conos unidos por sus vértices en línea vertical, uno sobre el otro. La más baja de estas luces estará por encima de las luces de costado a una altura no inferior al doble de la distancia entre las dos luces verticales.

Cuando vayan con arrancada, además de las luces prescritas en este párrafo, mostrará las luces de costado y una luz de alcance.

6.2.7. LUZ DURANTE LABORES OCEANOGRÁFICAS NO PESCA

Se considerará al buque de capacidad de maniobra restringida durante las labores de toma de datos u operación del ROV, y exhibirá por tanto las luces correspondientes a dicha situación:

- Tres luces todo horizonte en línea vertical, en el lugar más visible. La más elevada y la más baja de estas luces serán rojas y la luz central será blanca.
- Tres marcas en línea vertical en el lugar más visible. La más elevada y la más baja de estas marcas serán bolas y la marca central será bicónica.
- Cuando vayan con arrancada, además de las luces prescritas en el apartado i), una o



varias luces de tope, luces de costado y una luz de alcance.

- Cuando estén fondeados, además de las luces o marcas prescritas en este apartado, las luces o marcas prescritas en el apartado 6.2.5. referido a fondeo y varada.

6.2.8. TIPO DE LUCES DE NAVEGACIÓN

Cada una de las luces que debe exhibir el buque en navegación, debe tener su circuito eléctrico independiente, a partir de un cuadro independiente instalado en el puente, conectado directamente o a través de transformadores al cuadro principal o al cuadro de emergencia por dos cables, cada uno de los cuales debe tener capacidad para transportar la carga total. El cuadro de distribución estará en posición accesible al oficial de guardia. Cada luz de navegación estará alimentada y protegida por medio de un interruptor bipolar y fusible o por medio de un disyuntor montado en el cuadro de distribución.

El cuadro que alimenta las luces de navegación estará provisto de unas alarmas ópticas y acústicas que avisen automáticamente en caso de fallar alguna de las luces citadas.

Las luces de navegación serán del tipo de doble bombilla o doble lente, o bien de una sola lente, pero con bombilla de doble filamento no rellena de gas, para que al accionar el conmutador correspondiente se pueda intercalar inmediatamente en circuito la bombilla o filamento de reserva en caso de avería.

La instalación eléctrica estará dispuesta de modo que las luces de navegación puedan ser alimentadas por la fuente de energía eléctrica de socorro en caso de emergencia. Las luces dobles serán las de tope, las de costado babor y estribor, remolque y alcance. El resto podrán ser sencillas.



7. SISTEMA DE ACHIQUE Y SENTINAS

El sistema de achique tiene que ser capaz de bombear y achicar cualquier compartimento estanco aun estando completamente adrizado y con una escora de hasta 5º.

Los compartimentos superiores dispondrán de imbornales tales que permitan la evacuación de los fluidos acumulados a compartimentos inferiores del buque donde se disponga de medios de achique.

El objetivo del sistema de consiste en recoger y conducir las aguas negras y contaminadas de diferentes operaciones durante la explotación del buque y la cámara de máquinas.

7.1. COLECTOR DE SENTINAS

El diámetro del colector principal de sentinas se define en el Bureau Veritas, parte C, capítulo 1, sección 10, regla 6.8.1 como:

$$d = 25 + 1,68\sqrt{L \cdot (B + D)}$$

Que resolviendo con las dimensiones de nuestro buque queda:

$$d = 25 + 1,68\sqrt{80 \cdot (18,15 + 9,1)} = 103,4 \text{ mm}$$

Se tomará un valor comercial para la tubería de entre los siguientes:



Tamaño nominal de la tubería	Diámetro exterior		Grosor de la pared		Diámetro interior			Área de flujo	
(pulgadas)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pie)	(mm)	(pie ²)	(m ²)
3	3,96	100,6	0,320	8,13	3,32	0,277	84,3	0,0601	5,585 x 10 ⁻³
4	4,80	121,9	0,350	8,89	4,10	0,342	104,1	0,0917	8,518 x 10 ⁻³
6	6,90	175,3	0,380	9,65	6,14	0,512	156,0	0,2056	1,910 x 10 ⁻²
8	9,05	229,9	0,410	10,41	8,23	0,686	209,0	0,3694	3,432 x 10 ⁻²
10	11,10	281,9	0,440	11,18	10,22	0,852	259,6	0,5697	5,292 x 10 ⁻²
12	13,20	335,3	0,480	12,19	12,24	1,020	310,9	0,8171	7,591 x 10 ⁻²
14	15,65	397,5	0,510	12,95	14,63	1,219	371,6	1,167	0,1085
16	17,80	452,1	0,540	13,72	16,72	1,393	424,7	1,525	0,1417
18	19,92	506,0	0,580	14,73	18,76	1,563	476,5	1,920	0,1783
20	22,06	560,3	0,620	15,75	20,82	1,735	528,8	2,364	0,2196
24	26,32	668,5	0,730	18,54	24,86	2,072	631,4	3,371	0,3132

Diámetro Nominal	Diámetro Exterior		Espesor de Pared	Espesor	Peso Teórico	Presión de Trabajo
pulg.	pulg.	mm	pulg.	mm	kg/m	Psi a 38°C
1/4	3/8	9,52	0,035	0,89	0,216	1595
3/8	1/2	12,70	0,049	1,24	0,400	1745
1/2	5/8	15,87	0,049	1,24	0,512	1375
5/8	3/4	19,05	0,049	1,24	0,622	1135
3/4	7/8	22,22	0,065	1,65	0,954	1315
1	1 1/8	28,57	0,065	1,65	1,249	1010
1 1/4	1 3/8	34,92	0,065	1,65	1,548	820
1 1/2	1 5/8	41,27	0,072	1,83	2,024	765
2	2 1/8	53,97	0,083	2,11	3,066	665
2 1/2	2 5/8	66,67	0,095	2,41	4,360	520
3	3 1/8	79,37	0,109	2,77	5,953	605
3 1/2	3 5/8	92,07	0,120	3,05	7,619	570
4	4 1/8	104,77	0,134	3,40	9,688	555

Tabla 6. Diámetros comerciales de tubería

Es decir, la tubería de 4 pulgadas, con un diámetro interior de 104,1 mm.

7.2. BOMBA DE SENTINAS

De acuerdo al reglamento Bureau Veritas, parte C, capítulo 1, sección 10, regla 6.7.4, la capacidad de las bombas de sentinas serán tal que, puedan proveer caudal a una velocidad no inferior a 2 m/s, y su caudal mayor que el valor resultante de la siguiente expresión:

$$Q = 0,00565 \cdot d^2$$



Siendo “d”, el diámetro interno del colector calculado previamente, en milímetros.

Esto significa un caudal mínimo de:

$$Q = 0,00565 \cdot 104,1^2 = 61,23 \text{ m}^3$$

Se recomiendan dos bombas centrífugas para este sistema, una de respeto. Se elegirán por tanto con un valor superior al estimado.

Bomba de sentinas		
Marca	EBARA	-
Modelo	3D(.)4 65-160/1.1	-
Nº de bombas	2	-
Caudal	63	m3/h
Presión	3.8	bar
Rendimiento	0.65	-
Potencia	10.04	kW
Peso	194	kg

Tabla 7. Bomba de sentinas

7.3. ACHIQUE DE SENTINAS INDEPENDIENTES

Algunos locales dispondrán circuitos de sentinas secundarios que confluyen con el circuito principal de sentinas.

Los diámetros de los ramales se calcularán de igual manera que para el colector principal, pero en vez de la eslora total del buque se usará la del compartimento a achicar L_1 :

$$d = 25 + 1,68\sqrt{L_1 \cdot (B + D)}$$

7.3.1. CÁMARA DE MÁQUINAS

La cámara de máquinas, aunque se halla dividido en compartimentos separados por mayor seguridad, incluirá dos pozos, uno a proa y otro a popa comunes para la cámara de máquinas, y los diámetros de los colectores quedarán como:



$$d = 25 + 1,68\sqrt{15,6 \cdot (18,15 + 9,1)} = 59,6 \text{ mm}$$

Se tomará un diámetro normalizado de 66,67 mm.

7.3.2. PROPULSORES PRINCIPALES

Este local contará con dos aspiraciones a proa del espacio, de diámetro:

$$d = 25 + 1,68\sqrt{8,4 \cdot (18,15 + 9,1)} = 50,4 \text{ mm}$$

Se tomará un diámetro normalizado de 53,97 mm.

7.3.3. PROPULSOR SECUNDARIO

Para el local del propulsor secundario se colocará un único ramal a proa del mismo, con diámetro:

$$d = 25 + 1,68\sqrt{10,2 \cdot (18,15 + 9,1)} = 53 \text{ mm}$$

Se tomará un diámetro normalizado de 53,97 mm.

7.3.4. HÉLICES DE PROA

En este caso se instalará un único ramal a popa del local, con diámetro:

$$d = 25 + 1,68\sqrt{10,8 \cdot (18,15 + 9,1)} = 53,8 \text{ mm}$$

Se tomará un diámetro normalizado de 53,97 mm.

7.3.5. CAJA DE CADENAS

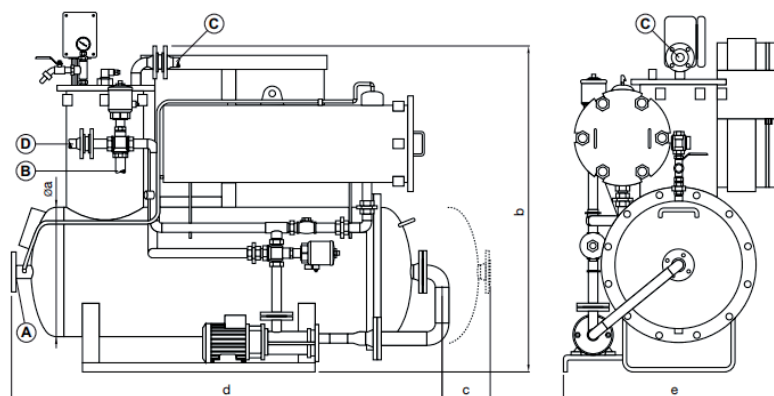
Para la caja de cadenas, debido al bajo volumen a achicar se instalará un sistema de bombeo manual, conectado al sistema de achique que que descarga al mar.

7.4. SEPARADORA DE SENTINAS

De acuerdo al anexo I del reglamento MARPOL, antes de descargar el agua achicada de la cámara de máquinas y otros espacios con riesgo de contaminación por hidrocarburos, este debe ser tratado con una separadora para reducir la concentración de dichos hidrocarburos hasta menos de 15 partes por millón (ppm).

Tras la separación se envían al tanque de lodos aquellos restos contaminantes que no pueden descargarse al mar y se vierte al exterior lo demás.

La separadora elegida será el modelo CPS 10B MK III + EBM 3 14X2 de la marca PECOFACET, cuyas características se adjuntan a continuación:



MODEL	DIMENSIONS (mm)					FLOW (m³/h)	WEIGHT (kg)	WORKING WEIGHT (kg)
	a	b	c	d	e			
CPS 2.5B MKIII+EBM 14x1	457	1000	275	860	820	0.5	260	430
CPS 5B MKIII+EBM 14x1	457	1000	275	1145	850	1	280	470
CPS 10B MKIII+EBM 14x2	457	1000	1010	1755	820	2.5	415	725
CPS 25B MKIII+EBM 3 14x2	900	1450	760	1565	1315	5	735	1765
CPS 50B MKIII+EBM 3 14x3	900	1550	760	2185	1315	10	810	2430

MODEL	CONNECTION LIST			
	A (Inlet)	B (Discharge to sea)	C (Oil Discharge)	D (Discharge to Bilge)
CPS 2.5B MKIII+EBM 14x1	DN32 PN10/16	1/2" BSP	DN25 PN10	DN15 PN10
CPS 5B MKIII+EBM 14x1	DN32 PN10/16	1" BSP	DN25 PN10	DN25 PN10
CPS 10B MKIII+EBM 14x2	DN32 PN10/16	1" BSP	DN25 PN10	DN25 PN10
CPS 25B MKIII+EBM 3 14x2	DN65 PN10/16	2" BSP	DN50 PN10	DN50 PN10
CPS 50B MKIII+EBM 3 14x3	DN65 PN10/16	2" BSP	DN50 PN10	DN50 PN10

Ilustración 10. Características separadora de sentinas



7.4.1. BOMBA AUXILIAR DE LA SEPARADORA

Aunque el equipo elegido incorpora una bomba auxiliar de alimentación, se va a diseñar una bomba auxiliar de trasiego para succionar y descargar en caso de necesidad.

Esta bomba tendrá una capacidad de un 5% de la principal, con que su caudal mínimo será:

$$Q = 0,05 \cdot 61,23 = 3,06 \text{ m}^3$$

Bomba auxiliar de la separadora		
Marca	EBARA	-
Modelo	MATRIX 5-4/0,9	-
Nº de bombas	1	-
Caudal	3.6	m3/h
Presión	3.86	bar
Rendimiento	0.6	-
Potencia	0.63	kW
Peso	174	kg

Tabla 8. Bomba auxiliar de la separadora



8. SERVICIO DE AIREACIONES, REBOSES Y SONDAS DE TANQUES

8.1. AIREACIONES

Los espacios del buque que no dispongan de un sistema de ventilación, como por ejemplo, tanques, pozos de sentinas, etc., deben disponer de aireación, la cual asegura que la presión interior del espacio es la atmosférica, evitando así que una diferencia de presión con el exterior pueda dañar la estructura.

Las tuberías de aireación se emplazan en la parte superior del espacio y lo más a popa posible, ya que aunque el buque se ha diseñado para no tener trimado, la disposición y formas del mismo le dotarán de un pequeño trimado a proa, por lo que las bolsas de aire se sitúan hacia popa.

En los espacios que quedan entre refuerzos se disponen de groeras por las cuales pasa el aire hasta el punto donde comienza la aireación de dicho espacio.

Las tuberías de aireación pueden ventear directamente, o bien agruparse en un colector. En cualquier caso, el conducto de aireación debe finalizar en una válvula de venteo, la cual debe estar situada 760 mm por encima de la cubierta principal o bien 450 mm por encima de cualquier otra cubierta. Se puede optar por agrupar las aireaciones y conducir las hasta la chimenea, con lo que se sitúan en la parte más alta del buque. Sin embargo hay que tener en cuenta que cuanto más alto este el punto de venteo, mayor deberá ser el escantillonado del tanque, ya que la presión interior del líquido contenido será mayor. Será necesario por lo tanto posicionarlas de manera que se encuentren lo más bajo posible pero a la vez que no supongan un punto de inundación progresiva del buque, lo que perjudicaría el cumplimiento de los criterios de estabilidad. Las aireaciones de los tubos de aceite dispondrán de una rejilla cortafuegos, que evitan la propagación de cualquier llama.

En cuanto al diámetro de los tubos, la reglamentación exige que el área interior de la tubería sea al menos un 25 % mayor que el área efectiva de la tubería de llenado. Por otro lado, como mínimo el valor del diámetro interior será 50 mm.

8.2. REBOSES

Las aireaciones de los tanques de combustible se agruparán en un colector común vertical principal que desemboque en la chimenea del buque. Por el otro extremo, el colector finaliza en el tanque de reboses.

El objetivo es reaprovechar el combustible que pueda rebosar de los tanques y que es perfectamente utilizable a la vez que se airean los tanques. Además se evita un posible colapso del colector durante el proceso de llenado de los tanques de combustible. Para asegurarse que no se produce una acumulación de combustible en la tubería, ésta se debe diseñar con un



ángulo de caída vertical en todo su recorrido.

Al igual que las aireaciones de aceite, se dispondrá de una rejilla cortafuegos para evitar la propagación de cualquier llama.

8.3. SONDAS DE TANQUES

Todos los tanques llevarán sondas a distancia. Los indicadores de las sondas estarán situados en las cabinas de control de cámara de máquinas. Además, todos los tanques llevarán tubos de sonda manuales.

También se instalarán medios para sondear las sentinas de aquellos compartimentos que no sean fácilmente accesibles y que estarán situados tan cerca como sea posible de las tuberías de aspiración.

El diámetro de los tubos sonda, tanto de compartimientos como de tanques, tendrán un diámetro interior mínimo de 32 mm, siendo 65 mm cuando atraviesen espacios refrigerados. En el caso de las sondas de combustible, su diámetro mínimo será 50 mm. Los cierres de estas tuberías serán estancos.



9. SISTEMA DE LASTRE Y ANTI ESCORA

Durante la navegación y operación del buque pueden darse situaciones en las que sea necesario corregir el trimado o la escora mediante sistemas auxiliares como los que se estudian a continuación.

9.1. SISTEMA DE LASTRE

De acuerdo a lo estudiado en el cuaderno 12 de situaciones de carga, se ha considerado oportuno instalar un tanque de lastre en el pique de proa.

Se van a instalar dos bombas de lastre, de tal manera que una actúe de respeto de la otra, considerando que el tanque debe poder llenarse en 5 horas, luego el caudal necesario para llenar los 54,3 m³ de lastre será:

$$Q_{lastre} = \frac{V_{lastre}}{t} = \frac{54,3}{5} = 10,9 \frac{m^3}{h}$$

Bomba contra incendios		
Marca	EBARA	-
Modelo	2CDX(L) 200/30	-
Nº de bombas	2	-
Caudal	12.6	m3/h
Presión	5	bar
Rendimiento	0.6	-
Potencia	2.86	kW
Peso	177	kg

Se dispondrá además un sistema de tratamiento de lastre si el armador así lo desea.

9.2. SISTEMA ANTI ESCORA

Si bien el momento generado por las grúas aparentemente no va a ocasionar una escora excesiva, se va a estudiar el ángulo de escora que generaría la peor situación, para decidir si instalar o no un sistema anti escora.

El ángulo de escora se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$\operatorname{tg}(I) = \frac{P \cdot d}{\Delta \cdot GM}$$

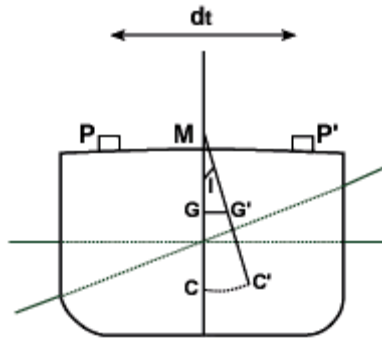


Ilustración 11. Representación escora por pesos

Se estima el radio metacéntrico, de acuerdo al Bureau Veritas como

$$GM = 0,07 \cdot B = 0,07 \cdot 18,15 = 1,27 \text{ m}$$

Se tendría, resolviendo la ecuación:

$$\operatorname{tg}(I) = \frac{15 \cdot 15}{7000 \cdot 1,27} = 0,0253$$

Luego escoraría un ángulo de:

$$\arctg(0,0253) = 1,45^\circ$$

En general para ángulos de escora inferiores a 2° no vale la pena instalar sistemas anti escora, y al ser el ángulo máximo menor a $1,5^\circ$ se ha decidido desestimar la instalación de dicho sistema, que además requiere un consumo de potencia considerable debido al gran calibre de las bombas que incorpora.



10. SISTEMA DE BALDEO Y CONTRA INCENDIOS

10.1. REQUISITOS GENERALES

Toda la reglamentación correspondiente al sistema contraincendios viene especificada en el capítulo II.2 del convenio SOLAS

10.2. SISTEMA GENERAL

De acuerdo a lo estipulado en la referencia [3], deberán disponerse detectores automáticos determinados para espacios determinados, tal y como se recoge en la tabla siguiente:

ESPACIO	TIPO
Espacio de maquinaria categoría A	Humo + Calor Llama
Otros espacios de maquinaria	Humo
Espacio acomodación	Humo
Espacio de servicio	Humo
Cocina	Humo + Calor
Pasillo, escaleras y vías de evacuación en acomodación	Humo

Tabla 9. Tipo de detector según área

10.3. SISTEMA CI DE AGUA SALADA

El sistema consiste en un sistema de tuberías que toma el agua salada del mar y la distribuye por todos los locales a proteger del buque, disponiendo en ellos los medios adecuados para proyectar el agua de forma adecuada sobre cualquier incendio que se produzca a bordo.

El agua salada del mar se utiliza en los buques como agente extintor principal:

- Inagotable no debe almacenarse a bordo
- No es recomendable para fuegos eléctricos ni muy eficaz para fuegos de líquidos inflamables
- Daña los equipos y mobiliario
- No afecta al ser humano.

10.3.1. TOMAS DE MAR

Las tomas de mar consisten en aberturas en el casco que comunican este con pequeños espacios en el interior cerrados mediante una válvula que se abrirá en caso de necesidad, permitiendo a las bombas instaladas en el buque activar el sistema contra incendios de agua salada.

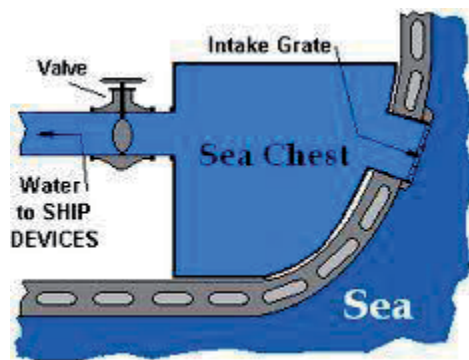


Ilustración 12. Toma de mar

Se han instalado cuatro en total bajo la cámara de máquinas, de las cuales las dos más a popa están destinadas a los sistemas de refrigeración, mientras que las dos situadas más a proa se destinan a diferentes labores a bordo, incluyendo contra incendios.

10.3.2. BOMBAS DE AGUA SALADA

Todos los reglamentos y normativas expuestos en este apartado se rigen de acuerdo a lo estipulado en el SOLAS, capítulo II.2, regla 10:

a) Número de bombas

“2.2.2 Número de bombas contra incendios

Todos los buques irán provistos de la siguiente cantidad de bombas contra incendios de accionamiento independiente:

.1 en los buques de pasaje de:



4000 toneladas o más de arqueado bruto al menos tres menos de 4000 toneladas de arqueado bruto al menos dos”

En nuestro caso GT = 4415,6; con que se instalarán tres bombas de agua salada contra incendios.

b) Capacidad total de las bombas

“2.2.4.1 Capacidad total de las bombas contra incendios requeridas

Las bombas contra incendios requeridas deberán poder suministrar para fines de extinción, a la presión estipulada en el párrafo 2.1.6, el caudal de agua siguiente:

.1 las de los buques de pasaje, el caudal de agua será no menos de dos tercios del caudal que deben evacuar las bombas de sentina cuando se las utilice en operaciones de achique;”

En el presente proyecto se ha estimado que el caudal a achicar por cada bomba de sentinas debe ser al menos 61,23 m³/h; entonces la capacidad total de las bombas de agua salada contra incendio será:

$$Q_{AS\ Total} = \frac{2}{3} \cdot Q_S = \frac{2}{3} \cdot 63,25 = 42,17 \frac{m^3}{h}$$

c) Capacidad unitaria de las bombas

“2.2.4.2 Capacidad de cada bomba contra incendios

Cada una de las bombas contra incendios prescritas (aparte de cualquier bomba de emergencia prescrita en el párrafo 2.2.3.1.2 para buques de carga) tendrá una capacidad no inferior 80% de la capacidad total exigida dividida por el número mínimo de bombas contra incendios prescritas, que nunca será de menos de 25 m³/h; en todo caso cada una de esas bombas podrá suministrar por lo menos los dos chorros de agua prescritos. Estas bombas contra incendios podrán alimentar el sistema del colector contra incendios en las condiciones estipuladas. Cuando el número de bombas instaladas sea superior al mínimo prescrito, estas bombas tendrán una capacidad de por lo menos 25 m³/h y serán capaces de descargar al menos los dos chorros de agua requeridos en la regla 2.1.5.1.”

Aplicando la normativa a los datos calculados tendríamos:

$$Q_{AS} > 0,8 \cdot \frac{Q_{AS\ Total}}{n} = 0,8 \cdot \frac{42,17}{3} = 11,25 \frac{m^3}{h}$$

Valor que resulta inferior a los 25 m³/h de capacidad mínima exigida por el reglamento.



Se instalarán por tanto 3 bombas con al menos esta capacidad.

Bomba contra incendios		
Marca	EBARA	-
Modelo	2CDX(L) 200/30	-
Nº de bombas	3	-
Caudal	12.6	m3/h
Presión	4.25	bar
Rendimiento	0.6	-
Potencia	2.43	kW
Peso	177	kg
Precio	1262	€

Tabla 10. Bomba contra incendios

d) Diámetro del colector de incendios

“2.1.3 Diámetro del colector contra incendios

El diámetro del colector y de las tuberías contra incendios será suficiente para la distribución eficaz del caudal máximo de agua prescrito respecto de dos bombas contra incendios funcionando simultáneamente, salvo cuando se trate de buques de carga, en cuyo caso bastará con que el diámetro sea suficiente para un caudal de agua de 140 m3/h.”

Como el nuestro se considera buque de pasaje bastará con que sea suficiente para la distribución del caudal máximo de agua respecto de dos bombas contra incendios como las previamente calculadas funcionando simultáneamente.

10.3.3. MANGUERAS

Se instalarán las mangueras de acuerdo a lo siguiente:

“2.3 Mangueras contra incendios y lanzas

2.3.1 Especificaciones generales

2.3.1.1 Las mangueras contra incendios serán de materiales no perecederos aprobados por la Administración y tendrán longitud suficiente para que su chorro de agua alcance cualquier punto en que pueda ser necesario. Cada manguera estará provista de una lanza y de los acoplamientos necesarios. Las mangueras consideradas en el presente capítulo como “mangueras contra incendios”, así como los accesorios y herramientas necesarios, se mantendrán listos para su uso inmediato y colocados en lugares bien visibles, cerca de las conexiones o bocas contra incendios. Además, en los emplazamientos interiores de los buques de pasaje que transporten más de 36 pasajeros, las mangueras estarán permanentemente acopladas a las bocas contra incendios. Las mangueras tendrán una longitud de no inferior a 10 m, pero no superior a:

- .1 15 m en los espacios de máquinas;*
- .2 20 m en otros espacios y en las cubiertas expuestas; y*



.3 25 m en las cubiertas expuestas de buques con una manga superior a 30 m.”

Una por cada boca de incendios, además en las bocas de incendios la presión dependerá del arqueado bruto del buque de acuerdo a lo siguiente:

“2.1.6 Presión de las bocas contra incendios

Cuando las dos bombas descarguen simultáneamente por las lanzas de manguera especificadas en el párrafo 2.3.3 el caudal de agua especificado en el párrafo 2.1.3 a través de cualquiera de las bocas contra incendios adyacentes, se mantendrán las siguientes presiones en todas las bocas contra incendios:

.1 buques de pasaje:

de 4000 toneladas o más de arqueado bruto 0,40 N/mm²

de menos de 4000 toneladas de arqueado bruto 0,30 N/mm²”

Es decir en el caso que nos ocupa, las presiones en las bocas contra incendios será de 0,4 N/mm².

10.3.4. EXTINTORES

La distribución de los extintores se hará de acuerdo a lo estipulado en el SOLAS:

“3.2 Distribución de los extintores

3.2.1 Los espacios de alojamiento y de servicio y los puestos de control estarán provistos de extintores portátiles de un tipo apropiado y en un número suficiente que sean satisfactorios a juicio de la Administración. En buques de arqueado bruto igual o superior a 1000 toneladas el número de extintores portátiles no será inferior a cinco.

3.2.2 Uno de los extintores portátiles destinados a ser utilizados en un espacio determinado estará situado cerca de la entrada a dicho espacio.

3.2.3 No habrá extintores de incendio a base de anhídrido carbónico en los espacios de alojamiento. En los puestos de control y demás espacios que contengan equipo eléctrico o electrónico o dispositivos necesarios para la seguridad del buque, se proveerán extintores cuyo agente extintor no sea conductor de la electricidad ni pueda dañar el equipo y los dispositivos.

3.2.4 Los extintores de incendio estarán listos para su utilización y situados en un lugar visible que pueda alcanzarse rápida y fácilmente en todo momento en caso de incendio, y de modo que su utilidad no se vea afectada por las condiciones meteorológicas, las vibraciones o factores externos. Los extintores portátiles dispondrán de dispositivos que indiquen si se han utilizado.

3.3 Cargas de respeto

3.3.1 Se proveerán cargas de respeto para el 100% de los 10 primeros extintores y para el 50% del resto de los extintores que se puedan recargar a bordo. No se necesitan más de 60 cargas de respeto. Las instrucciones para recargarlos se llevarán a bordo.

3.3.2 En el caso de extintores que no se pueden recargar a bordo, en lugar de cargas de respeto



se proveerá la misma cantidad de extintores portátiles adicionales del mismo tipo y capacidad según lo dispuesto en el párrafo 3.3.1 supra.”

10.4. SISTEMA DE CO₂

La ventaja principal de la utilización de gas como agente extintor es que no daña los equipos que se encuentren dentro del local, el peligro radica en que al reducirse el contenido de oxígeno en el local hace imposible que una persona sobreviva en su interior.

Con el fin de proteger la vida humana este tipo de sistemas con gas:

- No se podrán utilizar en espacios habitables. Acomodación, espacios de servicio o espacios de máquinas con dotación permanente
- Dispondrá de medios adecuados para garantizar que todas las personas han abandonado el local antes de descargar el gas
- El accionamiento del sistema será siempre manual, no se admiten sistemas automáticos.

10.4.1. SISTEMA DE CÁMARA DE MÁQUINAS

El volumen de gas correspondiente para la cámara de máquinas se tomará como el 35% de la suma del volumen de la cámara de máquinas y el guardacalor:

$$V_{CO_2 CM} = 0,35 \cdot (V_{CM} + V_{GC}) = 0,35 \cdot (768,93 + 158,2) = 324,5 \text{ m}^3$$

El 85% del volumen total de gas debe descargarse en menos de 2 minutos

Conociendo el volumen específico del CO₂: 0,5532 m³/kg Podremos calcular la masa total de gas a instalar:

$$m_{CO_2} = V_{CO_2} \cdot 0,5532 = 324,5 \cdot 0,5532 \text{ kg}$$

Y dividiendo por la capacidad másica de cada botella de CO₂ comercial, que son 45 kg tendremos el número de botellas a disponer a bordo:



$$N_{botellas} = \frac{m_{CO_2}}{Capacidad_{botella}} = \frac{179,51}{45} = 3,99 \approx 4 \text{ botellas}$$

10.4.2. SISTEMA DE PAÑOL DE PINTURA

El pañol de pintura también se basará en un sistema de gas CO₂, y el volumen de gas designado para tal efecto se calcula como el 40% del volumen bruto de dicho compartimento:

$$V_{CO_2 PP} = 0,4 \cdot V_{PP} = 0,4 \cdot 54 = 21,36$$

Al igual que en el apartado anterior correspondiente a la cámara de máquinas, deberá poder descargar el 85% del total del gas en dos minutos.

Se añade una quinta botella de CO₂ al local de CO₂ sobre cubierta, ya que lo correspondiente al sistema de extinción de incendios de la cámara de máquinas son cuatro botellas casi exactas, de esta manera se asegura la existencia de suficiente gas para la peor situación, es decir extinguir incendio en ambos locales.

10.5. ROCIADORES

El sistema capaz de proyectar agua de forma uniforme y en cantidad suficiente sobre el piso del espacio a proteger, para extinguir un incendio.

Se puede utilizar agua dulce o salada del mar como agente extintor. Es obligatorio que todos los sistemas de rociadores que utilizan agua dulce como agente inicial, una vez agotada sean capaces de utilizar agua salada para continuar la extinción.

- El agua dulce debe llevarse a bordo almacenada y tiene una capacidad limitada.
- El uso de agua salada garantizar que es sistema sea inagotable ya que se toma directamente del mar.
- No es recomendable para fuegos eléctricos ni muy eficaz para fuegos de líquidos inflamables.
- El agua dulce daña menos los equipos y mobiliario que el agua salada.
- No afecta al ser humano.
- La descarga del agua es remota esto implica que no es necesario que este ninguna persona en el interior del espacio durante la extinción del incendio.
- El sistema puede ser automático lo que garantiza una pronta extinción antes de que el fuego tenga tiempo de extenderse.



10.5.1. ACOMODACIÓN

Se usará agua salada, la cual se tomará directamente del mar en vez de acumularse en el interior del buque.

Los rociadores se agruparan por secciones de acuerdo a los siguientes criterios:

- Una zona no puede incluir más de 200 rociadores.
- En los buques de pasaje además:
 - o Cada cubierta marca zona separadas, por lo tanto dos zonas no pueden pertenecer a la misma cubierta.
 - o Una zona no puede incluir espacios que se encuentren en zonas verticales de contra incendios diferentes.

El sistema debe ser capaz de suministrar un caudal de agua de 5 l/min por metro cuadrado sobre un área mínima de 280 m² de superficie a proteger, o bien sobre un área mayor si este existiese en algún espacio interior del buque, en nuestro caso deberá ser capaz de cubrir el área correspondiente al hangar, que es de unos 400 m².

$$Q_{roc\ acom} = 5 \cdot A = 5 \cdot 400 = 2000 \frac{l}{min} = 120 \frac{m^3}{h}$$

Para dimensionar el tanque de agua dulce, se tiene en cuenta una capacidad adecuada para extinguir la mayoría de los incendios, como mínimo un volumen igual al doble de la carga necesaria para mantener el flujo de agua necesario en los rociadores durante 1 minuto:

$$V_{AD\ roc} = 2 \cdot \frac{Q_{PP}}{1min} = 2 \cdot \frac{2000}{1min} = 4000\ l = 4\ m^3$$

10.5.2. CÁMARA DE MÁQUINAS

Aunque el sistema de extinción de incendios principal de la cámara de máquinas es el de CO₂, se instalará también un sistema manual de rociadores.

El sistema crea una protección local con agua de equipos adicional al sistema fijo de extinción del espacio de maquinaria donde se encuentre el equipo.

El sistema debe ser capaz de suministrar un caudal de agua de 5 l/min por metro cuadrado en las siguientes superficies a proteger:

- Partes con riesgo de incendio de los motores diesel



- Parte delantera de las calderas
- Parte con riesgo de incendio de los incineradores
- Purificadoras de combustible calentado,

Se toma el área a cubrir de los equipos para el cálculo del caudal necesario, y procediendo como en el apartado anterior, pero en este caso el área se tomará como el área de la cámara de máquinas que resulta 127,75 m²:

$$Q_{roc\ CMM} = 5 \cdot A = 5 \cdot 127,75 = 638,75 \frac{l}{min} = 38,32 \frac{m^3}{h}$$

10.5.3. PAÑOL DE PINTURAS

Por último, se van a instalar rociadores anti incendios de activación manual en el pañol de pinturas, por si alguna razón impidiese al sistema de gas CO₂ activarse en el local.

El caudal de los rociadores se hace de forma semejante pero con el área del pañol de pinturas:

$$Q_{roc\ pp} = 5 \cdot A = 5 \cdot 20 = 100 \frac{l}{min} = 6 \frac{m^3}{h}$$



11.SERVICIOS SANITARIOS

Este sistema es el que abarca todo el proceso de potabilización y trasiego del agua sanitaria a bordo, tanto fría como caliente.

Se estudiarán ambos sistemas de forma independiente.

11.1. AGUA DULCE SANITARIA FRIA

Este sistema suministra agua dulce fría a servicios de fonda, duchas, lavandería, laboratorios, limpieza de los cristales del puente, entre otros.

11.1.1. TANQUES AGUA DULCE

Estos tanques se describieron en el cuaderno 4, y tienen una capacidad de $13,5 \text{ m}^3$ cada uno, habiéndose instalado dos, de tal manera que mientras uno se llena con el generador de agua dulce se consume el contenido del otro.

También se podrán rellenar mediante una toma de agua en la cubierta superior para abastecerse desde el exterior en caso necesario.

11.1.2. PLANTA POTABILIZADORA

Para dimensionar la planta potabilizadora, se va a tener en cuenta que la capacidad del generador de agua dulce será suficiente para llenar un tanque de agua dulce del buque en 24 horas, es decir para rellenar $13,5 \text{ m}^3$.

Se ha elegido el modelo AQUA BLUE C80 de Alfa Laval, que tiene un rango de trabajo comprendido entre 7 y $25 \text{ m}^3/24\text{h}$, su peso es de 800 kg.



Ilustración 13. Generador de agua dulce

Se añade además, un potabilizador de agua para asegurar su potabilización, de la misma marca Alfa Laval, modelo AOT 3F, con una capacidad de 3m³/h y un peso de 10,5 kg.



Ilustración 14. Potabilizador de agua

11.1.3. TANQUE HIDRÓFORO

El tanque hidróforo es el encargado de mantener un determinado nivel de presión en el sistema de agua sanitaria.

Para calcular el caudal necesario del tanque hidróforo se usará la expresión siguiente:

$$Q_{TH} = \sum C_{ADn} \cdot N \cdot f_n$$

Donde:

- C_{AD} es el consumo de agua dulce, estimado en el cuaderno 4 como 160 litros por persona al día, se supondrá para el diseño de la bomba que un tercio de la tripulación está consumiendo en un pico momentáneo de una hora la mitad de estos 160 litros, y otro tercio de la tripulación está consumiendo 2 litros cada uno, el otro tercio restante no está consumiendo agua sanitaria.
- N es el número total de personas a bordo.



- f el factor de operación, es decir el número de personas que estén usando el sistema al mismo tiempo, y que se supondrá en 50% como se ha explicado unas líneas más arriba.

Luego:

$$Q_{TH} = \left(\frac{160}{2} \cdot 10^{-3} \cdot 75 \cdot 0.333\right) + (2 \cdot 10^{-3} \cdot 75 \cdot 0.333) = 2,05 \frac{m^3}{h}$$

Considerando que el tanque hidróforo debe llenarse en 4 minutos, el volumen del mismo será:

$$V_{TH} = Q_{TH} \cdot t = 2,05 \cdot \frac{4}{60} = 0,137 m^3$$

Dado el aumento de la presión constante en el tanque hidróforo, se añadirá un margen al valor obtenido de un 30%, obteniendo un valor final de:

$$V_{TH} = 1,3 \cdot 0,137 = 0,178 m^3$$

11.1.4. BOMBAS DE AGUA DULCE

Las bombas de agua dulce se estimarán de acuerdo a su capacidad para llenar el tanque hidróforo en 4 minutos, luego el caudal a suministrar por las bombas será, como mínimo:

$$Q_{AD} = \frac{V_{TH}}{t} = \frac{0,178}{\frac{4}{60}} = 2,67 \frac{m^3}{h}$$

Se van a instalar dos bombas centrífugas, de tal manera que mientras una esté funcionando la otra se encuentre de reserva.



Bomba agua dulce		
Marca	EBARA	-
Modelo	CD 70/12	-
Nº de bombas	2	-
Caudal	3	m ³ /h
Presión	6	bar
Rendimiento	0.6	-
Potencia	0.82	kW
Peso	174	kg

Tabla 11. Bomba agua dulce

11.2. AGUA DULCE SANITARIA CALIENTE

El buque dispondrá también de agua dulce caliente para duchas, o labores varias que requieran de este fluido con una temperatura superior a la normal, para ello se instalará un sistema capaz de calentar el agua.

11.2.1. CALENTADORES

Para el estudio de los calentadores se va a tener en cuenta la situación que más agua caliente requerirá a bordo.

Se supondrá que al final de la jornada de trabajo de los científicos se van a duchar la mitad de ellos, más un tercio de la tripulación (suponemos un tercio de guardia y el otro tercio durmiendo), lo que hace un total de 25 científicos y 8 tripulantes, en un intervalo de tiempo de una hora.

Como valores lógicos se va a suponer una temperatura del agua dulce en los tanques de 15 °C, y una temperatura en la salida de la alcachofa de 36 °C. El consumo por persona en la ducha se estimará 60 litros de agua.

Suponiendo una temperatura de los calentadores de 60 °C resulta sencillo estimar la cantidad de agua caliente necesaria por ducha, a través de:

$$V_c = \frac{V_{ducha} \cdot \Delta T_{AD}}{T_{calentador} - T_{tanque}} = \frac{60 \cdot (36 - 15)}{60 - 15} = 28 \text{ litros}$$



Como se están usando $25+8 = 33$ duchas al mismo tiempo:

$$V_{total} = V_c \cdot n^{\circ} \text{ duchas activas} = 28 \cdot 33 = 924 \text{ l} = 0,924 \text{ m}^3$$

Se instalarán dos calentadores de $0,5 \text{ m}^3$ cada uno, cuyo consumo de potencia se estimará de acuerdo la expresión siguiente:

$$P = \frac{V_{calentador} \cdot \rho \cdot C \cdot \Delta T}{t} = \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 4,17 \cdot (60 - 15)}{3600} = 26 \text{ kW}$$

11.2.2. BOMBAS

Se van a instalar dos bombas para mantener el flujo de agua caliente constante en el sistema, actuando una de respeto de la otra.

Las bombas deberán ser capaces de ofrecer cada una, mínimo $1 \text{ m}^3/\text{h}$, sin embargo se va a dotar de un margen extra e instalar dos bombas de $2,4 \text{ m}^3/\text{h}$ cada una.

Bomba agua dulce caliente		
Marca	EBARA	-
Modelo	CMA 1.00 T	-
Nº de bombas	2	-
Caudal	2.4	m ³ /h
Presión	3.28	bar
Rendimiento	0.6	-
Potencia	0.36	kW
Peso	174	kg

Tabla 12. Bomba agua dulce caliente



12.SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES

De acuerdo a lo estipulado en el MARPOL, todo buque cuyo arqueo bruto sea superior a 400 GT deberá cumplir el reglamento de tratamiento y gestión de aguas sucias.

Las aguas residuales generadas a bordo se dividen en:

- Aguas grises: lavabos, duchas, lavadoras, etc.
- Aguas negras: WC e inodoros.

Se conducirán a los tanques de almacenamiento o planta de tratamiento por gravedad.

Este sistema podrá descargar las aguas grises directamente al mar durante la navegación a más de 12 millas de la costa si no están desinfectadas, y a más de 4 millas si lo están.

Durante el fondeo o estancia en puerto, así como durante la navegación por aguas protegidas, las aguas grises deberán almacenarse en el tanque de aguas grises o bien descargarse a puerto si se permite.

Las aguas negras sin embargo no podrán descargarse al mar salvo emergencia, y deberán ser tratadas a bordo en la planta de tratamiento. Una vez se traten, pasarán a considerarse como aguas grises.

12.1. TANQUES DE AGUAS RESIDUALES

Se disponen dos tanques de aguas residuales, el de aguas grises y el de aguas negras.

12.1.1. TANQUE DE AGUAS GRISES

El tanque de aguas grises se definió en el cuaderno 4, y su capacidad se ha estimado en 13,5 m³.

Como ya se ha comentado, este tanque almacenará las aguas grises cuando estas no puedan descargarse al mar directamente.

12.1.2. TANQUE DE AGUAS NEGRAS

El tanque de aguas negras se definió igualmente en el cuaderno 4, y es mucho menor, con un volumen de 4,5 m³; ya que durante el funcionamiento normal del buque las aguas negras se tratarán en la planta de tratamiento de aguas residuales, tras lo cual serán consideradas como



aguas grises a todos los efectos.

Sin embargo se incluye este tanque por si algún motivo impidiese el tratamiento de aguas negras o algún agente externo forzase a almacenar las aguas negras a bordo.

12.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tal y como se estimó en el cuaderno 4, las aguas negras generadas a bordo diariamente, más un pequeño margen de seguridad son 4,5 m³; que deberán tratarse antes de descargarse al mar, luego la planta de tratamiento de aguas residuales deberá ser capaz de tratar por lo menos 4500 litros al día.

Se ha encontrado el modelo ST3A-C de DFM Aguas S.L. capaz de tratar 4660 litros de aguas negras al día, cuyas dimensiones vienen en la tabla siguiente:

Modelo	Certificado* Litros/Día (sólo aguas negras)	Dimensiones (mm)			Peso Lleno Kg
		A	B	C	
ST0-C	1030	1705	781	1181	930
ST1A-C	1740	1890	1061	1181	1550
ST2A-C	3120	1960	1879	1293	2750
ST3A-C	4660	2050	1927	1640	3900
ST4A-C	6010	2150	2030	1790	4910
ST6A-C	9360	2500	2277	1940	7270
ST8-C	11 840	3 000	2 270	2 000	9 350
ST10-C	15 810	3 400	2 470	2 000	11 655
ST13-C	20 830	4 400	2 470	2 000	15 680
ST15-C	25 704	3 700	2 970	2 300	17 980
ST20-C	33 974	4 620	2 970	2 300	23 230
ST25-C	40 778	4 620	3 220	2 500	27 830
ST30-C	47 422	5 012	3 220	2 700	33 080
ST40-C	64 150	6 012	3 670	2 680	40 330
ST50-C	80 182	7 000	3 970	2 900	51 310
ST60-C	100 800	7 000	3 970	3 500	66 780

* UK IMO Certificado

Tabla 13. Características planta de tratamiento de aguas residuales

12.3. DESCARGA AL MAR DE AGUAS RESIDUALES

Se va a instalar una bomba de descarga al mar, cuyo caudal viene marcado por la siguiente expresión:

$$Q = 0,000926 \cdot V \cdot T \cdot B$$

Siendo V la velocidad del buque en nudos, que se tomará como máxima para asegurar la descarga en todas las situaciones, T es el calado de proyecto y B la manga, luego:



$$Q = 0,00926 \cdot 15 \cdot 7,2 \cdot 18,15 = 18,15 \frac{m^3}{h}$$

Bomba descarga aguas residuales (mar)		
Marca	EBARA	-
Modelo	2CD(X)(L) 70/10	-
Nº de bombas	1	-
Caudal	20	m3/h
Presión	3.85	bar
Rendimiento	0.6	-
Potencia	3.50	kW
Peso	180	kg

Tabla 14. Bomba descarga aguas residuales (mar)

12.4. DESCARGA A TIERRA DE AGUAS RESIDUALES

Para la descarga a tierra se requiere un caudal menor, bastará que la bomba sea capaz de descargar el tanque de aguas grises en menos de 4 horas, luego:

$$Q = \frac{V_{AG}}{t} = \frac{13,5}{4} = 3,375 \frac{m^3}{h}$$

Bomba descarga aguas residuales (tierra)		
Marca	EBARA	-
Modelo	2CD(X)(L) 70/10	-
Nº de bombas	1	-
Caudal	3.6	m3/h
Presión	3.15	bar
Rendimiento	0.6	-
Potencia	0.52	kW
Peso	174	kg

Tabla 15. Bomba descarga aguas residuales (tierra)

13.SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Se va a instalar un incinerador de residuos a bordo, que si bien no es necesario por reglamento, sí que resulta conveniente.

Este incinerador servirá para tratar los residuos sólidos generados a bordo diariamente, que puedan ser quemados sin riesgo de emisión de gases nocivos a la atmósfera, en cuyo caso se almacenarían hasta llegar a puerto, los materiales prohibidos para incinerar se definen en los anexos I, II y III del MARPOL.

La situación del incinerador se definió en el cuaderno 4, incluyendo la chimenea para evacuar los gases de la combustión, que estará comunicada con el guardacalor.

Se ha elegido el modelo GS 500 CS de TeamTec Marine Product, que es capaz de quemar 135 kg/h de residuos sólidos, y adicionalmente tiene capacidad para tratar hasta 100 l/h de lodos si fuera necesario.



Ilustración 15. Incinerador de residuos

Sus características están en la siguiente tabla:

TECHNICAL DATA – GS500C model:

version :	C	CS	CSW	CGSW ⁽¹⁾	CIS*	CIC ⁽²⁾
Calorific capacity:	731 000 kcal/h 850 kW	731 000 kcal/h 850 kW	731 000 kcal/h 850 kW	731 000 kcal/h 850 kW	775 000 kcal/h 901 kW	800 000 kcal/h 930 kW
Sludge oil capacity **::	100 l/h	100 l/h	N/A	N/A	120 l/h	105 l/h
Bilge water capacity:	N/A	N/A	N/A	N/A	153 l/h	N/A
Solid waste capacity:	400 l/load	135 kg/h	135 kg/h	150 kg/h	135 kg/h	135 kg/h
Feeding sluice:	-	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Self cleaning nozzle:	Yes	Yes	N/A	Yes	Yes	Yes
Total weight :	4 450 kg	4 600 kg	4 550 kg	4 800 kg	4 610 kg	4 600 kg
Dimensions (L x W x H mm):	2300x1902x1994	2457x1902x2117	2457x1902x2117	2937x1902x2167	2457x1902x2117	2457x1902x2117
Footprint (L x W mm):	2000x1000	2000x1000	2000x1000	2000x1000	2000x1000	2000x1000
Fuel oil consumption:	16 kg/day	16 kg/day	36 kg/h	36 kg/h	16 kg/day	16 kg/day
Rated el. power (440V):	27 kW	27 kW	27 kW	35 kW	27 kW	31 kW

Tabla 16. Características incinerador de residuos



14.EQUIPO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE (HVAC)

Toda la acomodación del buque dispone de servicio de aire acondicionado y calefacción, adecuados para trabajar en condiciones extremas de calor y frío.

Los conductos de ventilación cumplen SOLAS. Regla 41-2. 6.3, con válvulas de mariposa de cierre automático, contra incendios y a prueba de fallos. Pudiéndose accionar desde ambos lados en los alojamientos y servicios.

El servicio de aire acondicionado y calefacción está compuesto por dos sistemas independientes que tienen la posibilidad de conectarse entre sí. Cada sistema da servicio a cada una de las siguientes zonas:

- Camarotes, con el fin de permitir la regulación individualizada
- Todos los espacios públicos, salones, comedores, zonas comunes, etc.

La cabina de control tiene un sistema independiente de aire acondicionado.

Las unidades de aire acondicionado y calefacción se encuentran en el local de aire acondicionado, situado en la zona de proa de la cubierta inferior, disponiendo de un cuadro de control, con indicación de temperaturas, alarmas y señalizadores.

14.1. VENTILACIÓN

Se ventilarán los diferentes locales con ventiladores de diferentes características de acuerdo al tipo de local que ventilen así como el volumen del mismo.

Las renovaciones por hora, en función del local a renovar se tomarán como:

- 4 en pañoles y local de CO₂
- 8 en camarotes
- 8 en oficinas y despachos
- 8 en enfermería
- 8 en la lavandería
- 8 en los pasillos
- 10 en gimnasio y vestuarios
- 12 en comedores y zonas comunes
- 20 en sala de control, taller y local de aire acondicionado
- 20 en la cocina, gambuzas y aseos
- 20 en los laboratorios
- 20 en puente de gobierno
- 24 en el local de la hélice de proa



Luego conociendo el volumen de cada uno de estos locales, de la disposición general realizada en el cuaderno 4, podemos calcular los caudales correspondientes, tal y como se recogen en la tabla siguiente:

Ventilación			
Local	Volumen (m ³)	Renovaciones/h	Caudal (m ³ /h)
Camarotes	3119.9	8	24958.8
Aseos comunes	243.8	20	4876.2
Espacios comunes	916.4	12	10996.6
Hospital y enfermería	91.5	8	732.2
Lavandería	63.7	8	509.8
Cocina	259.5	20	5189.4
Oficinas	231.9	8	1855.4
Gimnasio	95.6	10	955.8
Vestuarios	42.7	10	426.6
Laboratorios	655.8	20	13116.6
Pañoles	210.9	4	843.5
Local CO2	33.1	4	132.3
Puente	723.1	20	14461.2
Local hélice proa	387.9	24	9309.2
Pasillos	2707.9	8	21663.5

Tabla 17. Caudales ventilación

El caudal de aire total, CT, es suma de todos los conceptos anteriores. Considerando una recirculación de aire, CREC, del 65%, y un consumo de aire exterior, CEXT, del 35% restante, se obtienen los siguientes caudales de aire, en m³/h:

Caudal total	Recirculación	Exterior
110027.1	71517.6	38509.5

Tabla 18. Caudal recirculado y exterior

14.2. AIRE ACONDICIONADO

La instalación de aire acondicionado tiene que ser capaz de mantener una temperatura interior de por lo menos 25 °C a una humedad relativa del 65%, suponiendo que el ambiente exterior se encuentra a 35 °C al 85% de humedad relativa, sin embargo se va a diseñar el sistema de tal manera que tenga la capacidad de mantener los diferentes locales a temperaturas algo inferiores, por ello como se podrá ver a continuación, dependiendo del



local habrá diferentes temperaturas interiores.

Conocidos los caudales necesarios en cada local o grupo de locales resulta sencillo ahora el cálculo de la calefacción y el aire acondicionado, sabiendo que en cada local se define T_{local} , como la temperatura a mantener en el local, para lo cual la temperatura de salida de la rejilla debe ser 4°C más baja y la de salida de la unidad de calefacción 4°C más abaja aún para compensar pérdidas.

A esta temperatura de salida de la central se llamará, $T_{central}$, y será igual a $T_{local} - 8^{\circ}\text{C}$.

Como se ha dicho, un 35% del aire se renueva, entonces la temperatura de entrada a la central resulta:

$$T_m = 0,35 \cdot T_{exterior} + 0,65 \cdot T_{local}$$

La potencia requerida entonces, en función de los locales se calcula mediante la expresión:

$$P = \frac{Q \cdot \rho \cdot C \cdot \Delta T_{c-m}}{3600}$$

Conociendo los datos del aire:

- $\rho = 1,16 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $C = 1,010 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
- $T_{ext} = 35^{\circ}\text{C}$

Tendremos los resultados, resumidos en la siguiente tabla:



Aire acondicionado					
Local	Caudal (m ³ /h)	Tlocal (°C)	Tm (°C)	Tcentral (°C)	P (kW)
Camarotes	24958.8	22	26.6	14	-101.9
Aseos comunes	4876.2	20	25.3	12	-21.0
Espacios comunes	10996.6	22	26.6	14	-44.9
Hospital y enfermería	732.2	22	26.6	14	-3.0
Lavandería	509.8	18	24.0	10	-2.3
Cocina	5189.4	18	24.0	10	-23.6
Oficinas	1855.4	20	25.3	12	-8.0
Gimnasio	955.8	18	24.0	10	-4.3
Vestuarios	426.6	20	25.3	12	-1.8
Laboratorios	13116.6	20	25.3	12	-56.6
Pañoles	843.5	14	21.4	6	-4.2
Local CO2	132.3	14	21.4	6	-0.66
Puente	14461.2	22	26.6	14	-59.1
Local hélice proa	9309.2	15	22.0	7	-45.4
Pasillos	21663.5	15	22.0	7	-105.8
SUMA	110027.1				-482.6

Tabla 19. Sistema de aire acondicionado

14.3. CALEFACCIÓN

La calefacción instalada tiene que ser capaz de mantener una temperatura interior de 20 °C a una humedad relativa del 50%, suponiendo que el ambiente exterior se encuentra a -5 °C al 85% de humedad relativa.

Procediendo de igual manera al punto anterior, pero en este caso con una temperatura exterior $T_{ext} = 35\text{ °C}$ en vez de -5 °C. Además en el caso de la calefacción la temperatura de salida de la rejilla debe ser 4°C más alta y la de salida de la unidad de calefacción 4°C más alta aún para compensar pérdidas.

En este caso pues, la Tcentral, será igual a Tlocal - 8°C.



Se recogen los resultados en la tabla siguiente:

Calefacción					
Local	Caudal (m ³ /h)	Tlocal (°C)	Tm (°C)	Tcentral (°C)	P (kW)
Camarotes	24958.8	22	12.6	30	141.7
Aseos comunes	4876.2	20	11.3	28	26.6
Espacios comunes	10996.6	22	12.6	30	62.4
Hospital y enfermería	732.2	22	12.6	30	4.2
Lavandería	509.8	18	10.0	26	2.7
Cocina	5189.4	18	10.0	26	27.1
Oficinas	1855.4	20	11.3	28	10.1
Gimnasio	955.8	18	10.0	26	5.0
Vestuarios	426.6	20	11.3	28	2.3
Laboratorios	13116.6	20	11.3	28	71.5
Pañoles	843.5	14	7.4	22	4.0
Local CO2	132.3	14	7.4	22	0.63
Puente	14461.2	22	12.6	30	82.1
Local hélice proa	9309.2	15	8.0	23	45.4
Pasillos	21663.5	15	8.0	23	105.8
Suma	110027.1				591.6

Tabla 20. Sistema de calefacción



15.SERVICIOS DE HABILITACIÓN

Se van a definir a continuación los diferentes elementos que componen la estructura de la acomodación y servicios de fonda y hotel.

15.1. ACOMODACIÓN

El Capítulo II-1 del SOLAS legisla sobre la clasificación de espacios y divisiones al fuego, aislamientos y la cantidad y tamaño de pasillos, escaleras y accesos, mientras que el Capítulo II del Convenio Internacional de líneas de carga nos da información sobre cómo han de estar contruidos diversos elementos: mamparos, puertas, tapas de escotilla, etc.

Todos los espacios destinados al alojamiento estarán equipados con muebles y equipos que serán de conformidad con los requisitos establecidos por las Autoridades en materia de características de incendios. El buque dispondrá de alojamiento para una tripulación de 25 personas y 50 científicos (considerados como pasajeros).

El alojamiento incluirá no solo los camarotes si no también el resto de espacios públicos tales como gimnasio, cocina, biblioteca, etc., todos estos espacios cumplirán con el estándar europeo.

15.1.1. MAMPAROS DIVISORIOS, FORROS Y REVESTIMIENTO

La disposición de todas las salas así como los materiales utilizados en la superestructura serán de conformidad con la reglamentación del Convenio SOLAS de 1974 y enmiendas.

Dentro de los elementos de protección pasiva contra incendios, se engloba la característica de resistencia al fuego de mamparos y cubiertas. Deberemos disponer de mamparos de acero forrados con material ignífugo en las zonas de habilitación antes mencionadas, pasillos y escaleras.

Para definir los espacios se divide el buque en los diferentes espacios definidos por el Capítulo II-2 del SOLAS. A continuación, se definen los tipos de mamparo especificados en las tablas siguientes.

Las tablas correspondientes del SOLAS de estos valores para buques de pasaje con más de 36 personas a bordo son las siguientes:



Mamparos que no limitan zonas verticales principales ni zonas horizontales

Espacios	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Puestos de control	(1)	B-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-60	A-60	A-60	A-0	A-0	A-60	A-60	A-60
Escaleras	(2)		A-0	A-0	A-0	A-0	A-15	A-15	A-0	A-0	A-15	A-30	A-15	A-30
Pasillos	(3)			B-15	A-60	A-0	B-15	B-15	B-15	A-0	A-15	A-30	A-0	A-30
Puestos de evacuación y vías exteriores de evacuación	(4)				A-0	A-60	A-60	A-60	A-0	A-0	A-60	A-60	A-60	A-60
Espacios de cubierta expuesta	(5)					A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Alojamientos con escaso riesgo de incendio	(6)					B-0	B-0	B-0	C	A-0	A-0	A-30	A-0	A-30
Alojamiento con moderado riesgo de incendio	(7)						B-0	B-0	C	A-0	A-15	A-60	A-15	A-60
Alojamiento con considerable riesgo de incendio	(8)							B-0	C	A-0	A-30	A-60	A-15	A-60
Espacios para fines sanitarios y similares	(9)								C	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Tanques, espacios perdidos y de maquinaria auxiliar con pequeño o ningún riesgo de incendio	(10)									A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Espacios de maquinaria auxiliar, espacios de carga, tanques de hidrocarburos llevados como cargamento o para otros fines y demás espacios con moderado riesgo de incendio	(11)										A-0	A-0	A-0	A-15
Espacio de máquinas y cocinas principales	(12)											A-0	A-0	A-60
Gambuzas o paños, talleres, despensas, etc...	(13)												A-0	A-0
Otros espacios en que se almacenen líquidos inflamables	(14)													A-30

Tabla 21. Tipos de mamparos según SOLAS, 1

Cubiertas que no formen bayonetas en zonas verticales principales ni limitan zonas horizontales

Espacio inferior ↓	Espacio superior →	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Puestos de control	(1)	A-30	A-30	A-15	A-0	A-0	A-0	A-15	A-30	A-0	A-0	A-0	A-60	A-0	A-60
Escaleras	(2)	A-0	A-0	-	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-30	A-0	A-30
Pasillos	(3)	A-15	A-0	A-0	A-60	A-0	A-0	A-15	A-15	A-0	A-0	A-0	A-30	A-0	A-30
Puestos de evacuación y vías exteriores de evacuación	(4)	A-0	A-0	A-0	A-0	-	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Espacios de cubierta expuesta	(5)	A-0	A-0	A-0	A-0	-	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Alojamientos con escaso riesgo de incendio	(6)	A-60	A-15	A-0	A-60	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Alojamiento con moderado riesgo de incendio	(7)	A-60	A-15	A-15	A-60	A-0	A-0	A-15	A-15	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Alojamiento con considerable riesgo de incendio	(8)	A-60	A-15	A-15	A-60	A-0	A-15	A-15	A-30	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Espacios para fines sanitarios y similares	(9)	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Tanques, espacios perdidos y de maquinaria auxiliar con pequeño o ningún riesgo de incendio	(10)	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Espacios de maquinaria auxiliar, espacios de carga, tanques de hidrocarburos llevados como cargamento o para otros fines y demás espacios con moderado riesgo de incendio	(11)	A-60	A-60	A-60	A-60	A-0	A-0	A-15	A-30	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-30
Espacio de máquinas y cocinas principales	(12)	A-60	A-60	A-60	A-60	A-0	A-60	A-60	A-60	A-0	A-0	A-30	A-30	A-0	A-60
Gambuzas o paños, talleres, despensas, etc...	(13)	A-60	A-30	A-15	A-60	A-0	A-15	A-30	A-30	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0
Otros espacios en que se almacenen líquidos inflamables	(14)	A-60	A-60	A-60	A-60	A-0	A-30	A-60	A-60	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0

Tabla 22. Tipos de mamparos según SOLAS, 2



15.1.2. TECHOS

Se instalarán techos en salas de estar, salas comunes, oficinas, pasillos y escaleras en la zona del alojamiento así como en la cocina, oficio y espacios sanitarios.

El material de los techos será lana de escoria con cubierta de acero galvanizado y lámina de PVC, con panelado desmontable. Los disipadores de aire acondicionado dispondrán de sujeción independiente. El techo de la caseta del timón tendrá además revestimiento antimagnético incombustible con lámina de PVC.

15.1.3. SUELOS

La acomodación y laboratorios que se ubican en la cubierta principal sobre cámara de generadores, y otras fuentes de ruido, dispondrán de paneles de piso flotante con características de reducción de ruido y vibraciones óptimas.

Las baldosas y azulejos se emplearán como pavimento en los baños, local de ropas de trabajo y ropa de agua, lavandería, cocina, laboratorio húmedo, laboratorio biológico y cualquier otro sitio en que pueda haber agua por accidente o por uso normal agua.

Bajo las baldosas cerámicas en las zonas donde no haya concentración excesiva de agua se extenderá 20 mm de cemento que no absorba agua y con inclinación hacia los drenajes que se deberán ubicar en cada compartimiento.

En los espacios con gran concentración de agua como los baños, lavandería, cocina, laboratorio húmedo, se extenderá 30 mm de cemento que no absorba agua.

Las baldosas en general serán antideslizantes. En las zonas bajo los equipos de cocinas, lavadoras, etc., pueden emplearse con acabado liso. Las juntas deberán rellenarse con cemento.

15.1.4. AISLAMIENTOS

En general, se utilizan láminas de lana mineral cuyo número de capas y espesor dependerán de los requisitos específicos. El espesor mínimo depende del estándar que tenga cada astillero, pero como guía tomaremos 50 mm y la densidad de la lana mineral será como mínimo de 40 Kg/m³. Las láminas de lana de roca se pincharán a los mamparos mediante pines de unos 3 mm de longitud y se fijarán mediante presillas.

El aislamiento térmico de todos los alojamientos, espacios comunes y de trabajo será adecuado para la ruta que se pretende realizar y la temperatura ambiente.



La parte alta de la cubierta de los alojamientos y de los mamparos externos se aislará con lana mineral de 150 mm. Se dispondrá un aislamiento contra el ruido y contra incendios en las paredes divisorias a base de paneles interiores prefabricados.

Se prestará especial atención al aislamiento contra el ruido de los camarotes y espacios comunes, maquinaria y salas de equipos, así como, las entradas/salidas de aire en la parte exterior de las cubiertas públicas. La densidad de la lana mineral del aislamiento acústico será como mínimo de 100 Kg/m³.

Los mamparos y suelos de espacios de vivienda adyacentes a la sala de máquinas, tendrán aislamiento contra incendios A-60. Los suelos además se aislarán mediante una capa inferior térmica.

15.1.5. PUERTAS INTERIORES

En general, el tipo de puerta vendrá definida por el mamparo en la que se encuentre (definido en el apartado anterior) situada: A-60, A-0, B-15, B-0, C (dan acceso a habitación desde el exterior) y puertas que den a locales refrigerados.

Las puertas interiores A-60 pueden ser de bisagras o correderas. Las primeras dan acceso a espacios de máquinas y las segundas se ubican en los mamparos estancos que dividen el buque en zonas verticales aisladas contra incendios de costado a costado y de cubierta a fondo (como la del mamparo estanco de cámara de máquinas). Serán puertas estancas de corredera operadas hidráulicamente, que podrán cerrarse mediante telemando desde el puente o in situ desde ambos lados del mamparo. Han de mantener su estanqueidad incluso si el espacio está completamente inundado de agua.

Las puertas interiores no estancas, siempre que se pueda abrirán hacia dentro de los compartimentos. La hoja de las puertas interiores tendrá un núcleo de lana mineral cubierto con chapa de acero y, a requisito de la sociedad de clasificación, las habrá resistentes al fuego si están situadas en una zona/mamparo que así sea considerada. Esto se consigue mediante un recubrimiento de PVC resistente e ignífugo; en los espacios refrigerados serán de poliéster reforzado.

El espesor libre de todas las puertas interiores será de 625 mm y la altura del borde superior de los marcos de las puertas no será inferior a 1900 mm por encima del suelo.

15.1.6. PUERTAS EXTERIORES

El Convenio Internacional de líneas de Carga define como características generales de las aberturas practicadas en los mamparos externos: “deberán ir dotadas de puertas de acero o



de otro material equivalente, afirmadas de manera permanente y sólida al mamparo, y con marcos, refuerzos y accesorios tales que la resistencia del conjunto sea equivalente a la del mamparo intacto, además de estancas a la intemperie cuando estén cerradas". Las de acomodación deben ser capaces de abrir y cerrar con el movimiento de una sola barra.

Serán de acero y se abrirán hacia fuera para dar una protección adicional contra el impacto del mar y estarán equipadas con topes para su fijación en la posición abierta. La altura de los umbrales de las aberturas de acceso en los mamparos de los extremos de las superestructuras cerradas será por lo menos de 380 mm sobre la cubierta.

Escaleras interiores, escalas verticales, plataformas en cámara de máquinas, pasamanos y barandillas

Las escaleras se dispondrán en la dirección proa-popa con una inclinación máxima de 60º y tendrán una anchura libre de 600 mm. Las escaleras se construirán de acero con peldaños anti-deslizantes.

Las escalas verticales se dispondrán de acuerdo con el Plano de Disposición General para acceder a los tanques de lastre, salidas de emergencia, bodegas, tanques, espacios vacíos y mástiles. En general, tendrán una anchura libre de 300 mm y estarán soldadas a la estructura. Estarán formadas por dos perfiles planos de acero en los laterales a los que irán soldados como peldaños perfiles cuadrados de acero espaciados aproximadamente 300 mm

Se instalarán escalas y plataformas de acero a distintos niveles de la sala de máquinas para acceder a todos los elementos de la misma. Las rejillas estarán soportadas por una estructura en ángulo y serán de chapa de acero salvo en las zonas superiores, donde podrán ser de enjaretado para un mejor escape del aire caliente. Donde sea necesario, se instalarán barandillas en las plataformas de la cámara de máquinas.

En las cubiertas a la intemperie se instalarán barandillas de 1100 mm de altura total desde su extremo superior hasta la cubierta de acero. Se dispondrán barandillas de tubo acopladas a lo largo de los mamparos exteriores en la superestructura y en todas las escaleras exteriores. En los pasillos de los alojamientos se instalarán pasamanos de balances.

15.1.7. VENTANAS

Las habrá fijas o con apertura lateral hacia el exterior mediante bisagras. En las salas donde haya más de una ventana, la mitad serán fijas.

Serán de doble vidrio, con brazolas de acero de 800 x 1000 mm y marcos y puertas de latón para condiciones marítimas. Las que puedan abrirse contarán con dos ganchos agarradores para su cierre. El tipo, de acuerdo al plan contra incendios, dependerá del mamparo al que



vayan fijadas.

Las ventanas del puente estarán equipadas con portillo centrífugo de vista clara, persianas para protección solar, rociador de agua de agua dulce por la parte exterior y con calefacción interna eléctrica. Las ventanas de los laterales se podrán abrir.

15.1.8. MOBILIARIO Y TAPICERÍA

Todo el mobiliario estará fabricado en madera y acero. Las partes externas serán de buena calidad y decorativas. Todo el mobiliario será de buena calidad marina.

Se tendrán cortinas en todas las ventanas y portillos, en las cabinas, comedores, salones, y enfermería.

Las superficies y las mesas estarán cubiertas con plástico laminado. Todo el mobiliario de madera estará barnizado. Todo el mobiliario pesado estará sujeto. Los elementos móviles estarán equipados con las sujeciones correspondientes.

Se dispondrán sillas y sofás en los espacios públicos. En el plano de disposición general se recoge una configuración propuesta para dichos espacios.

15.2. SERVICIOS DE FONDA Y HOTEL

15.2.1. COCINA

Todos los elementos estarán diseñados para ser instalados a bordo de un buque, es decir soportarán perfectamente el ambiente marino y los movimientos del buque, tendrán las balanceras necesarias para evitar que se puedan derramar líquidos o caer recipientes y seguros para las puertas de hornos, frigoríficos, etc.

Los equipos de la cocina, incluirán frigoríficos, cocina eléctrica, hornos, extractores, y todo aquello que el armador considere pertinente.

15.2.2. GAMBUZAS FRIGORÍFICAS

Se incluyen en gambuzas frigoríficas, la de carne, la de pescado y la de verduras, ya que las tres tendrán igual disposición estructural en cuanto a aislantes y materiales.



Los techos, los mamparos y los mamparos divisorios del interior de los tres almacenes estarán aislados con paneles de lana mineral y espuma de poliuretano proyectada con el espesor necesario para mantener la temperatura especificada en cada cámara. El aislamiento llevará un revestimiento metálico en su interior. Las cubiertas estarán aisladas también con lana de roca, aunque cubierta con una capa bituminosa de cemento reforzado con malla metálica de acero. En la parte superior se dispondrán baldosas cerámicas antideslizantes. El suelo se dispondrá inclinado hacia desagües de latón. En las zonas de paso se instalarán rejillas de madera.

Las puertas serán de aluminio, con aislamiento interior a base de paneles de poliuretano. Dispondrán de juntas de caucho y se abrirán desde ambos lados.

15.2.3. GAMBUZA SECA

El almacén de víveres no refrigerados estará cubierto con PVC y dispondrá de un pañol del sello separado para el almacén de productos aceptados (bebidas alcohólicas, tabaco...) y una zona para descongelar alimentos que contenga una báscula de hasta 100 kg, potro para carne, mesa pileta y colgador de cuchillos.

Los cierres, las puertas y las estanterías estarán recubiertos de laminado de plástico y estarán unidas entre ellas y a los mamparos. El almacén de productos aceptados dispondrá de una puerta con cierre de llave maestra. Estará conectada a la planta de aire acondicionado, el retorno de aire se hará a través de la cocina y se instalará un deshumidificador.

15.2.4. LAVANDERÍA

La lavandería incluirá 5 lavadoras y 5 secadores.

Además se dispondrá de una plancha y tabla de planchar, así como estanterías de acero para almacenar los enseres y un lavabo para el lavado a mano.



16.EQUIPOS SOBRE CUBIERTA DE TRABAJO

La cubierta de trabajo incluirá todos los mecanismos y aparatos necesarios para las labores oceanográficas o de aprovisionamiento, tal y como se describen a continuación, siendo el caso del pórtico de popa y las cinco grúas, especificaciones de proyecto.

16.1. PÓRTICO DE POPA

Se instalará un pórtico abatible a popa, dicho pórtico tendrá por especificaciones de proyecto una capacidad mínima de 20 toneladas.

El pórtico de popa se elegirá con una capacidad de 30 toneladas, para cumplir con los requisitos de diseño más un margen de trabajo por si se requiriese en un futuro operaciones de mayor capacidad.

Sus funciones principales son labores de pesca oceanográfica con red operación del ROV.

El pórtico de popa estará operado hidráulicamente.

El espacio libre del pórtico es 5 metros de ancho y 9 metros de alto.

Se considerará una velocidad de izado máxima de 30 m/min, que son 0,5 m/s, luego la potencia consumida va a ser:

$$P = \frac{30 \cdot 9,81 \cdot 0,5}{0,9} = 163,5 \text{ kW}$$

El peso del pórtico de popa se tomará de acuerdo a otros pórticos reales instalados en otros buques, y será:

$$Peso_{pórtico} = 94 \text{ t}$$

16.2. GRÚAS 3 T - 15 M

Se van a instalar dos grúas con capacidad de 3 toneladas a 15 metros, por especificación de proyecto.



Su situación en el buque se describe en el cuaderno 4.

$$P = \frac{F \cdot v}{\eta}$$

Donde F es la fuerza máxima que debe vencer la grúa, es decir el peso máximo por la aceleración debido a la gravedad, que se tomará como $9,81 \text{ m/s}^2$; v es la velocidad de izado, que se estimará en 30 m/min , es decir $0,5 \text{ m/s}$; y η el rendimiento mecánico, cuyo valor se va a tomar como 0,9.

Luego:

$$P = \frac{3 \cdot 9,81 \cdot 0,5}{0,9} = 16,35 \text{ kW}$$

El cálculo del peso se realiza mediante la tabla 2.22 de la referencia [6], para una capacidad de carga de 3 toneladas, e interpolando entre los valores de 14 y 16 metros de alcance de grúa, tendremos un peso de:

$$Peso_{3t-15m} = 14,75 \text{ t}$$

A lo que habrá que sumar el peso del polín, cuyo diámetro mínimo es 0,8 metros, y cuyo peso se calcula, según la referencia como:

$$Peso_{polín} = 8 \cdot 3 \cdot \frac{15}{1000} \cdot 0,8 = 0,288 \text{ t}$$

Que suma un total de 15,04 toneladas por grúa de 3 toneladas a 15 metros.



16.3. GRÚAS 15 T - 15 M

Tal y como se especifica en los requisitos iniciales del proyecto, se van a instalar dos grúas con capacidad de 15 toneladas a 15 metros en el buque.

Su situación en el buque se describe en el cuaderno 4.

Procediendo de idéntica manera al apartado anterior, se van a calcular las potencias y pesos de cada una de las grúas con capacidad de 15 toneladas.

La potencia será:

$$P = \frac{F \cdot v}{\eta} = \frac{15 \cdot 9,81 \cdot 0,5}{0,9} = 82,65 \text{ kW}$$

El peso de estas grúas se calcula de igual manera que la anterior, obteniendo de la tabla mencionada, para 15 toneladas a 15 metros un peso de:

$$Peso_{15t-15m} = 33,8 \text{ t}$$

Siendo el diámetro del polín 1,8 metros; siendo el peso del polín:

$$Peso_{polín} = 8 \cdot 15 \cdot \frac{15}{1000} \cdot 1,8 = 3,24 \text{ t}$$

Que suma un total de 37,04 toneladas por grúa de 15 toneladas a 15 metros.

16.4. GRÚA TELESCÓPICA 0,5 T - 22 M

La grúa telescópica de 0,5 toneladas a 22 metros viene también especificada en los requisitos del proyecto.

La grúa telescópica se situará sobre la superestructura del hangar, para no entorpecer la cubierta de trabajo y poder depositar la roseta CTD oceanográfica, tal y como se define en el



cuaderno 4.

Esta grúa va a disponer de una velocidad de izado de 60 m/min; es decir 1 m/s, y por ello consumirá una potencia de:

$$P = \frac{F \cdot v}{\eta} = \frac{0,5 \cdot 9,81 \cdot 1}{0,9} = 5,45 \text{ kW}$$

Su peso será, en base a otras grúas de capacidades y características similares observadas, de 4 toneladas.

16.5. MAQUINILLA DE POPA

Se va a instalar una maquinilla en cubierta para las labores de pesca y operación del ROV.

El cable se pasa por una polea en la parte alta del pórtico de popa y se engancha después a la red o ROV.

Dado que la mayor resistencia la va a ofrecer la red durante el arrastre, se dimensionará el cable y la maquinilla para esta situación, cumpliendo de esta manera sobradamente para las labores de izada y puesta a flote del ROV.

De acuerdo a la referencia [7], la velocidad de arrastre varía entre 2 y 4 nudos, conque tomaremos una velocidad de arrastre máxima de 4 nudos para los cálculos.

En esta misma referencia se especifican diferentes métodos de cálculo de la resistencia de la red. Se realizará mediante una estimación del tiro a punto fijo necesario, para lo que primero deberá aproximarse la potencia empleada en el arrastre, que se estima de acuerdo a la siguiente expresión, dada por el Dr. Hamuro:

$$P_{\text{arrastre}} = BHP \cdot K \cdot PS \cdot M$$

Donde:

- BHP, es la potencia nominal del motor propulsor, que será $2 \cdot 560 = 1020 \text{ kW}$
- K, el coeficiente de propulsión que se estima en 0,22 para hélices de paso fijo con velocidad de giro de 300 RPM
- PS, el coeficiente de utilización, tomado como 0,8
- M, coeficiente según estado de la mar, que se tomará como condiciones de viento



moderado o débil, para unos valores en la escala de Beaufort 3-4, cuyo coeficiente será $M = 0,8$.

Entonces:

$$P_{arrastre} = 1020 \cdot 0,22 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 143,62 \text{ kW}$$

Ya se puede entonces calcular el tiro de la maquinilla como:

$$T_{maq} = \frac{P_{arrastre}}{V_{arrastre}} = \frac{143,62}{0,5144 \cdot 4} = 69,8 \text{ kN} = 7,12 \text{ t}$$

Se ha encontrado el siguiente modelo que cumple con las características, tanto de pesca de arrastre como de operación del ROV:

Maquinilla de popa		
Marca	RAPP MARINE	-
Modelo	TWS-2520	-
Capacidad	8,15	t
Capacidad cable	1450	m
Diámetro cable	24	mm
Velocidad izada	0,5	m/s
Potencia	160,00	kW
Peso	3300	kg

Tabla 23. Características maquinilla de popa

16.6. TAMBOR DE RED

Se instalará un tambor de red inmediatamente a popa de la maquinilla para almacenar el cable con el que se realizan las labores de pesca así como de izado y puesta a flote del ROV.

16.7. ROV

Se va a elegir un modelo de ROV como el “Jason”, diseñado y construido WHOI’s Deep Submergence Laboratory.



Ilustración 16. ROV, modelo Jason

Sus características son:

- General
 - Profundidad máxima: 6500 m
 - Tamaño: 3,4m de longitud, 2,4m de altura, 2,2m de ancho
 - Peso: 4128 kg en aire (aprox.)
 - Velocidad: 1,5 knot avante; 0,5 knot lateral; 1,0 knot vertical
 - Velocidad de ascenso/descenso: 35 m/min. (+/- 5 m/min.)
 - Propulsión: 6 empujadores eléctricos DC sin escobillas, cada uno de 113 kg de empuje
 - Cable: 55m de largo, 20mm de diámetro, flotador natural.
- Muestreo
 - Almacenaje: Canasta de muestreo delantera, 98 cm x 152 cm con movimiento hidráulico
 - Dos brazos, uno a cada lado de 51 cm x 51 cm con movimiento hidráulico
 - Carga útil: 130kg máximo, dependiendo de la configuración del vehículo
 - Elevador de muestras: misión configurable; ascenso/descenso libre; 90kg de carga útil



16.8. OTROS EQUIPOS

Se van a disponer sobre la cubierta de trabajo enganches en la misma para la estiba de cuatro contenedores TEUs, tal y como se especificó en el cuaderno 4.



17.LABORATORIOS

Se van a enumerar a continuación los diferentes laboratorios que incluye el buque y una posible distribución de equipos de los mismos.

El abastecimiento de agua, tanto fría como caliente para los laboratorios, ha sido contemplado en el cálculo de agua dulce sanitaria, dejando el margen suficiente como para poder satisfacer la demanda de éstos.

En todos los laboratorios a bordo, además de los equipos aquí detallados, se dispondrán equipos de medida específicos solicitados por los investigadores, así como balanzas dotadas con sistemas anti vibratorios.

17.1. LABORATORIO BIOLÓGICO

El laboratorio biológico estará destinado a la medida medioambiental, recolección de ejemplares y proceso de análisis. En esta área se realizarán análisis de biotoxina marinas, proteínas, patologías de especies marinas, control de la calidad de las aguas, control de vertidos y residuos, etc.

Así mismo, se utilizarán técnicas instrumentales específicas como:

- Espectrofotometría.
- Análisis automático (proteínas, lípidos, fibra, etc.).
- Análisis elemental.
- Microscopía óptica y electrónica.

a) Cabina de seguridad biológica

Modelo ESCO LA2-4A3

El ratio aerodinámico de 65% de recirculación y 35% de extracción aumenta la protección al usuario por encima del 70%/30% habitual de las cabinas convencionales de seguridad biológica.

La combinación de filtros ULPA tanto en la extracción como en la impulsión ofrecen a la cabina Labculture una zona integrada de comportamiento para la protección del usuario, producto y medioambiente



Ilustración 17. Cabina de seguridad biológica

Se va a instalar LA2-4A3 de la siguiente tabla:

Especificaciones Generales Modelos Internacionales (Europa, Asia-Pacífico, África, Latinoamérica, 230V, 50/60 Hz)		LA2-3A1 LA2-3A3 LA2-3J5	LA2-4A1 LA2-4A3 LA2-4J5	LA2-5A1 LA2-5A3 LA2-5J5	LA2-6A1 LA2-6A3 LA2-6J5
Tamaño Nominal		0.9 metros	1.2 metros	1.5 metros	1.8 metros
Dimensiones Exteriores (A x F x H)		1115 x 810 x 1540 mm	1420 x 815 x 1540 mm	1725 x 815 x 1540 mm	2030 x 815 x 1540 mm
Dimensiones útiles interiores (A x F x H)		955 x 623 x 670 mm	1260 x 623 x 670 mm	1565 x 623 x 670 mm	1870 x 623 x 670 mm
Superficie de trabajo útil		0.45 m ²	0.6 m ²	0.75 m ²	0.9 m ²
Apertura testada		228.6 mm	228.6 mm	228.6 mm	203.2 mm
Apertura de trabajo		274 mm	274 mm	274 mm	248 mm
Velocidad media	Extracción	0.53 m/s			
	Impulsión	0.35 m/s	0.35 m/s	0.35 m/s	0.33 m/s
Caudal de Aire	Extracción	419 m ³ /h	552 m ³ /h	685 m ³ /h	742 m ³ /h
	Impulsión, 65%	702 m ³ /h	924 m ³ /h	1147 m ³ /h	1289 m ³ /h
	Extracción, 35%	419 m ³ /h	552 m ³ /h	685 m ³ /h	742 m ³ /h
	Extracción requerida con colector de extracción opcional	707 m ³ /h	901 m ³ /h	1114 m ³ /h	1256 m ³ /h
Eficacia típica del filtro ULPA		>99.999% para partículas de tamaños entre 0.1 y 0.3 micras.			
Nivel Acústico	NSF / ANSI 49	<66 dBA	<63.5 dBA	<66 dBA	<67 dBA
	EN 12469	<63 dBA	<60.5 dBA	<63 dBA	<64 dBA
Intensidad de la Luminaria		> 1230 Lux	> 1400 Lux	> 1070 Lux	> 1225 Lux
Construcción de la cabina		Acero electro-galvanizado con recubrimiento de pintura epoxi-poliéster isocida 1.2 mm / 18 gauge			
Electricidad *	220-240V, AC, 50Hz, 1Ø	LA2-3A1	LA2-4A1	LA2-5A1	LA2-6A1
	220-240V, AC, 60Hz, 1Ø	LA2-3A3	LA2-4A3	LA2-5A3	LA2-6A3
	100V, AC, 50/60Hz, 1Ø	LA2-3J5	LA2-4J5	LA2-5J5	LA2-6J5
Peso neto **		243 kg	283 kg	317 kg	350 kg
Peso de transporte **		292 kg	345 kg	410 kg	486 kg
Dimensiones para el transporte Máximo (L x A x Al)		1230 x 940 x 1900 mm	1530 x 940 x 1900 mm	1910 x 940 x 1900 mm	2150 x 940 x 1980 mm
Volumen de Transporte, Máximo **		2.20 m ³	2.73 m ³	3.41 m ³	4.00 m ³

* Voltajes adicionales disponibles; contacte con Esco para la información de pedido.

** Solamente la cabina, excluye el soporte.

Tabla 24. Características cabina de seguridad biológica

b) Microscopio óptico con cámara



Modelo T400Ai30WaDK. Microscopio Compuesto Trinocular de Campo Oscuro con 30W de luz halógena.

Son ideales para mirar en plantas con secciones transversales, células, bacterias, etc. Aunque los microscopios compuestos ofrecen posibilidades de ampliación de gran alcance, su distancia de trabajo es muy pequeña ya que las lentes del objetivo están muy cerca de los portaobjetos del microscopio.

La luz de estos tipos de microscopios se encuentra debajo de la base y brilla a través del portaobjetos transparente sobre la lente del objetivo, claramente iluminando la imagen en el ocular.

Este microscopio trinocular de laboratorio, T400Ai30WaDK, es ideal para propósitos de investigación.

Este microscopio contiene un cabezal trinocular deslizante y giratorio de 360 grados y de una inclinación de 45 grados. Dispone de platina mecánica 3-D, 30 vatios de iluminación halógena con intensidad variable y un puerto usb de foto de 23 mm. para conectarlo a un pc o una cámara fotográfica o de video.

Este microscopio contiene un cabezal trinocular deslizante y giratorio de 360 grados y de una inclinación de 45 grados. Dispone de platina mecánica 3-D, 30 vatios de iluminación halógena con intensidad variable y un puerto usb de foto de 23 mm. para conectarlo a un pc o una cámara fotográfica o de video.

Especificaciones:

- Revólver: cuádruples.
- Longitud del tubo mecánico: 6-5/16" (160mm)
- Cabeza: trinocular deslizante con 45 grados de inclinación.
- Ocular: campo amplio WF10X y P16X
- Distancia interpupilar: 2-3/16" - 3-0" (55 - 75mm).
- Objetivos acromáticos: 4X, 10X, 40X (spring), 100X (spring, oil)
- Dimensiones de la platina: 5-1/2" x 5-1/2" (140x140mm)
- Rango de movimiento de la platina: 2-15/16"x 1-3/4" (75x45mm)
- Rango de enfoque: 1-3/16" (30 mm)
- División de enfoque fino: 0.0000787" (0.002mm)
- Condensador Abbe: NA = 1,25
- Control de enfoque: desplazamiento de la platina mediante rodillo de guía (rack & pinion)
- Iluminación: lámpara halógena, 6V/30W
- Fuente de alimentación: 115V, CE certificado
- Accesorios: lámpara halógena de 6V/30W de repuesto, botella de aceite de objetivos y filtros azules, verdes y amarillos.
- Dimensiones del microscopio: 12" x 9" x 16"
- Peso: 9 kg.

Se va a instalar además una cámara digital acoplada al microscopio del siguiente modelo:

Cámara digital opcional para PC. MUi1000a 10 megapíxeles. Conexión USB 2.0.

- Precio: 418,68 €



Ilustración 18. Microscopio óptico con cámara

c) Estufa de cultivo

Modelo INILAB IDL.CI 80

Se usará para mantener con vida organismos en su interior, mediante la generación de un determinado ambiente y condiciones.

- Estufas con regulación analógica para cultivos.
- Convección natural de aire.
- Temperatura regulable desde ambiente +5 °C hasta 80 °C.
- Termómetro analógico lector de temperatura hasta 80 °C.
- Exterior fabricado en acero recubierto por pintura epoxi.
- Interior, soporte-guías para bandejas y contrapuerta en acero inoxidable.
- Puerta interior de vidrio templado.
- 2 bandejas interiores en acero inoxidable regulables en altura.
- Dispositivo de inmovilización del mando del termostato.
- Termostato de seguridad regulable incorporado.
- Homogeneidad: $\pm 2\%$.
- Estabilidad: $\pm 0,5\%$.

Especificaciones:

- Capacidad Litros: 80
- Dimensiones Exteriores cm AltoxAchoxFondo: 66x77x46
- Dimensiones Interiores cm AltoxAchoxFondo: 48x48x35
- Consumo Wat: 320
- Peso Kg: 49

d) Cuenta colonias

Modelo Labolan SENSOR

Estos contadores se utilizan para estimar la densidad de microorganismos en un cultivo líquido. Una dilución adecuada, o varias diluciones en serie dentro del rango estimado apropiado, se propaga utilizando una técnica estéril en la placa de agar, que se incuba en las condiciones adecuadas para el crecimiento hasta que aparecen las colonias individuales. Cada colonia marca el lugar donde se colocó un solo organismo originalmente, con lo que el número de colonias en la placa es igual al número de organismos en el volumen de líquido existente en la placa. Esta concentración se extrapola a partir de la dilución practicada sobre el cultivo original, para estimar la concentración de organismos existentes en ese cultivo inicial.

Cada vez que se cuenta una colonia el instrumento da tres señales: una señal audible, una marca sobre la cápsula y además, en la pantalla numérica. El máximo número de colonias que pueden ser efectivamente contadas con una sola placa está comprendido entre 100 y 1.000, dependiendo del tamaño de la colonia y el tipo de organismo.

Especificaciones:

- Registro electrónico mediante presión con cualquier tipo de marcador.
- Sensibilidad uniforme en toda la superficie, que activa su sistema sensor por presión.
- Lectura en display de 4 dígitos, con botón de puesta a cero.
- Dispositivo que permite ajustar la zona de trabajo a la placa petri a utilizar aceptando placas desde 10 hasta 15 cms.
- Lente de 1,5X en soporte ajustable en altura y giratorio 360°.
- Placa de fondo de contraste BLANCA o NEGRA intercambiable.
- Marcador incluido.
- Dimensiones: 30x33x10 cm.
- Peso: 5 Kgr
- 230V-50 Hz.

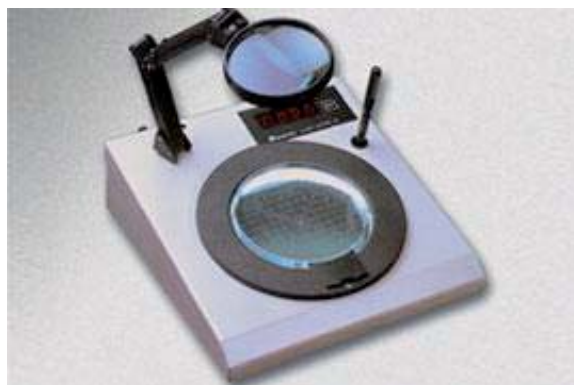


Ilustración 19. Cuenta colonias

(Equipo completo con lupa auxiliar, brazo flexible, marcador, placa de contraste)

e) **Centrifugadora digital**

Modelo Tecnylab Multicabezal 2718

El centrifugado es una sedimentación acelerada, ya que la aceleración de la gravedad se sustituye por la aceleración centrífuga. Además de ser más rápida que la sedimentación, la centrifugación permite separar componentes que la mera sedimentación no podría realizar

- Ajuste automático de velocidad según cabezal
- Fuertes suspensores que evitan cierres accidentales
- Motor de inducción libre de mantenimiento
- Panel digital de fácil manejo
- Doble interruptor de seguridad
- 10 rampas de aceleración y frenado
- Memoria hasta 12 protocolos
- Temporizador 0-999min
- Velocidad máx. 18000rpm
- Dimensiones 380x450x390mm
- Peso 23,545 kg



Ilustración 20. Centrifugadora digital

f) **Autoclave**

Modelo Europa B Evo 7 kg

Este aparato se utilizará para esterilizar material, eliminando todos los organismos que tengan.

- Dimensiones externas (W x H x D): 51 x 39 x 73 cm
- Diámetro cámara de acero INOX: 245 mm



- Profundidad cámara: 500 mm
- Alimentación: 230 V \pm 10%
- Potencia: 2.000 Watt
- Peso: 58 kg



Ilustración 21. Autoclave

g) Preparador de diluciones

Modelo UP 400 S

Es un dispositivo ultrasónico potente y fiable para: homogeneización, desaglomeración, desintegración celular, extracción de proteínas y la emulsificación de líquidos.

- Volumen: 5 to 4000 m
- Potencia: 400 w
- Peso: 3,2 kg



Ilustración 22. Preparador de diluciones

17.2. LABORATORIO GEOLÓGICO

a) Durómetro

Modelo FM550

Aparato de mesa automatizado con pantalla digital para el control preciso e independiente de la fuerza superficial de materiales metálicos.



Ilustración 23. Durómetro

- Dimensiones: 580 x 270 x 740 mm
- Peso (con bloque de prueba C) 100 kg

b) Viscosímetro

Modelo PCE-RVI 2 V1L

Con el viscosímetro de rotación PCE-RVI 2 puede determinar la viscosidad de un líquido con precisión. Para ello, el viscosímetro de rotación mide la resistencia mecánica de un líquido que actúa en contra del movimiento de rotación de un cilindro.

El torque resultante proporciona un valor de viscosidad referente a la geometría del cilindro, que se puede indicar, según modelo de viscosímetro de rotación, en el rango entre 3 – 13.000.000 mPa·s, con una precisión de ± 1 %.

Además, el viscosímetro de rotación mide la temperatura del líquido de prueba y la muestra, junto a otros parámetros como el número de revoluciones del husillo, el husillo seleccionado o el rango de medición establecidos, en la pantalla LCD de 4 líneas.

El menú multilingüe del viscosímetro de rotación PCE-RVI 2 se maneja con las teclas en el frente del aparato y permite en combinación con diferentes geometrías del husillo la adaptación óptima de los parámetros de medición a las propiedades del líquido de prueba.

Vía una interfaz adecuada, el viscosímetro de rotación PCE-RVI 2 puede conectarse opcionalmente con un ordenador para el análisis más profundo y la documentación de los resultados de medición.



Ilustración 24. Viscosímetro

- Velocidad de revoluciones rpm: 0,3 / 0,5 / 0,6 / 1 / 1,5 / 2 / 2,5 / 3 / 4 / 5 / 6 / 10 / 12 / 20 / 30 / 40 / 50 / 60 / 100 / 200
- Viscosidad: de 3 a 2 000 000 mPa·s
- Dimensiones: 330 x 300 x 430 mm
- Peso: 10 kg

c) Colorímetro

Modelo PCE-RGB 2

Un colorímetro es cualquier herramienta que identifica el color y el matiz para una medida más objetiva del color.

El colorímetro también es un instrumento que permite la absorbancia de una solución en una específica frecuencia de luz a ser determinada. Es por eso, que hacen posible descubrir la concentración de un soluto conocido que sea proporcional a la absorbancia.

Diferentes sustancias químicas absorben diferentes frecuencias de luz. Los colorímetros se basan en el principio de que la absorbancia de una sustancia es proporcional a su concentración, y es por eso que las sustancias más concentradas muestran una lectura más elevada de absorbancia. Se usa un filtro en el colorímetro para elegir el color de luz que más absorberá el soluto, para maximizar la precisión de la lectura. Note que el color de luz absorbida es lo opuesto del color del espécimen, por lo tanto un filtro azul sería apropiado para una sustancia naranja.

El colorímetro PCE-RGB 2 (DIN 5033) de mano con software e interface, tiene una tecnología

de microsistema muy moderna y precisa que opera según el método espectral.



Ilustración 25. Colorímetro

- Peso: 0,6 kg

17.3. LABORATORIO QUÍMICO

a) Luminómetro, espectrofotómetro y fluorómetro

Modelo Biotech Synergy 2 Multi-Mode Reader

Se ha optado por la instalación de un equipo que permite la realización de determinaciones espectrofotométricas de fluorescencia y/o de luminiscencia. Adecuado para el seguimiento de biomarcadores en organismos acuáticos y terrestres.



Ilustración 26. Luminómetro, espectrómetro y fluorímetro

- Potencia: 250 W
- Peso: 27 kg

b) Conductímetro

Modelo ATC HI 9835

El modelo elegido permite medir la conductividad tanto en $\mu\text{S}/\text{cm}$ como en ppm (mg/l campo de medición TDS), como la salinidad (NaCl) en % y la temperatura. En el conductímetro todos los valores de medición pueden ser representados con compensación automática o manual de temperatura. El coeficiente de temperatura del conductímetro se puede elegir entre 0,0 y 6,0% y el factor TDS puede ser regulado entre 0,80 (F1) y 0,40 (F2).



Ilustración 27. Conductímetro

- Peso: 0,5 kg

c) Reciclador térmico PCR

Modelo Veriti 96-Well Thermal Cycler

El desarrollo de la tecnología PCR implica el uso de este aparato indispensable para la fiabilidad del diagnóstico. De hecho, la precisión de la temperatura a lo largo de todos los ciclos influye considerablemente en la reproductibilidad del análisis. Cada ciclo está formado por tres etapas con temperaturas diferentes en cada una:

1. Desnaturalización: todas las cadenas de ADN se disocian a una temperatura elevada de 95°C, aproximadamente.
2. Hibridación de los cebadores en un fragmento de ADN entre 50 y 60°C.
3. Extensión: síntesis de las cadenas a partir de los cebadores de hibridación a 72°C, aproximadamente.



Ilustración 28. Reciclador térmico PCR

- Potencia: 640 W
- Peso: 11,4kg

d) Termosalinógrafos

Modelo Sea-Bird SEACAT SBE 21

Determina con precisión la temperatura y conductividad superficial del agua de mar, los datos proporcionados se pueden utilizar para calcular la salinidad, densidad, velocidad del sonido, y otros parámetros de interés. La información se guarda simultáneamente en memoria y es transmitida a un puerto serie de la estación de trabajo, permitiendo el registro y adquisición de datos en tiempo real. La unidad transceptora cuenta con un puerto NMEA 0183 de entrada para señal GPS de información de navegación.



Ilustración 29. Termosalinógrafo

- Potencia: 200 W
- Peso: 41 kg

e) Medidor de CO₂

Modelo pCO₂ General Oceanics

Las características de este modelo, de acuerdo al fabricante son:

Sensor Specifications				
	Range	Accuracy	Resolution	Time Constant
Pressure (Flow)	0 ...10 dbar	0.2 % full scale	0.03%	50ms
Temperature	-3 +50 °C	0.003°C	0.0005°C	50ms
Conductivity	0 64 mS/cm	0.003 mS/cm	0.001 mS/cm	50ms
Oxygen	0 25 ppm	0.1 ppm	0.01 ppm	3s
	0 250% sat.	1% sat.	0.1% sat.	3s
pH	0 .14 pH	0.01 pH	0.001 pH	3s
Redox	-1000 to +1000 mV	1 mV	0.1 mV	3s

Tabla 25. Características medidor de CO₂

f) Valorador automático

Modelo Mitsubishi GT 200

Este modelo controlarse a través de un PC, o con ratón y permite la conexión de memoria USB para hacer mucho más sencillo el manejo del equipo.

Dispone además de una pantalla gráfica con información intuitiva que permite con un solo clic

el inicio de la valoración o modificar la configuración También permite añadir opciones para automatizar la valoración hasta 24 muestras.



Ilustración 30. Valorador automático

- Potencia: 80 W
- Peso: 11 kg

g) Lavadora termo-desinfectadora

Modelo G 7883

Dado que los instrumentos se contaminan con su uso y deben desinfectarse antes de utilizarse se va a disponer de un sistema de desinfección de gran tamaño como el elegido.

La lavadora termo-desinfectadora G 7883 es apta para el reprocesamiento de materiales de vidrio de laboratorio usados en experimentos analíticos en industrias, laboratorios medioambientales y de investigación. Este aparato incorpora una cámara de lavado de gran tamaño con dos niveles y se puede integrar debajo de una encimera o instalar como unidad independiente.



Ilustración 31. Lavadora termo-desinfectadora

- Potencia: 6000 W
- Peso: 74 kg

h) Placa agitadora calefactora

Modelo Agitador con placa calefactora T.ARE

En el laboratorio, las placas calefactoras se utilizan generalmente para calentar el material de vidrio o su contenido. Poseen un selector de potencia que permite ajustar la emisión térmica y el tiempo necesario para calentar un determinado recipiente.



Ilustración 32. Placa agitadora calefactora

- Velocidad máxima: 1.200 rpm
- Capacidad Agitación: 25 Litros

- Dimensiones Ancho x Fondo x Alto: 190x220x100 mm
- Potencia: 1300 W
- Peso: 3,1 kg

i) Agitatubos

Un agitador tipo vórtex o mezclador de vórtice es un dispositivo simple que se usa comúnmente en los laboratorios para agitar pequeños tubos o frascos de líquido.

Se compone de un motor eléctrico con el eje de transmisión orientado verticalmente y unido a un trozo de goma o caucho montado en forma de copa, ligeramente excéntrico. A medida que el motor gira la pieza de caucho oscila rápidamente en un movimiento circular.

Cuando un tubo de ensayo o recipiente adecuado se coloca en el soporte de goma (o toca su borde) el movimiento se transmite al líquido en su interior y se crea un vórtice. La mayoría de los mezcladores de vórtice tienen una configuración de velocidad variable y pueden ser configurados para ejecutarse de forma continua, o para que funcione sólo cuando una débil presión se aplica a la goma.

Poseen unos pies de ventosa en la base para evitar desplazamientos.



Ilustración 33. Agitatubos

- Velocidad de agitación: Fija 2600 r.p.m.
- Excentricidad: 6 mm
- Dimensiones (An x Al x F): 140 x 100 x 155 mm



- Potencia: 48 W
- Peso: 4 Kg

17.4. LABORATORIO SECO

El laboratorio seco incluirá los sistemas necesarios para considerarse un laboratorio de acústica, meteorológico y de control de datos, además de análisis y batimetría del fondo marino.

Si bien todos los equipos citados a continuación no están físicamente situados en este laboratorio, si no que por ejemplo se incluirán en la quilla retráctil, pero será desde dicho laboratorio donde se operen y analicen sus datos, es por ello que se definen a continuación.

Los equipos que incluirá serán:

- Ecosonda monohaz hidrográfica KongsbergMaritime EA 600
- Ecosonda multihaz de aguas profundas Atlas Hydrosweep DS-3 1º × 1º (incluye circuito de velocidad del sonido superficial y GPS de actiudApplanix POS MV)
- Ecosonda multihaz de aguas someras Atlas Hydrosweep Fansweep 20 ((incluye circuito de velocidad del sonido superficial y GPS de actiudApplanix POS MV)
- Sistema de integración de datos EIVA (NaviPac, NaviScan, NaviEdit y NaviModel)
- Ecosonda paramétrica Atlas Parasound P-35
- Ecosonda biológica KongsbergMaritime EK 60 (frecuencias de 18, 38, 70, 120 y 200 KHz)
- GPS diferencial
- Perfilador de corrientes por efecto DopplerTeledyne RD Instruments ADCP OceanSurveyor 75 y 150 kHz
- Sistema de sincronización acústica Atlas Hydrosync
- Sistema de posicionamiento acústico USBL IXSEA Posidonia 6000 Flush
- Sistema de comunicación acústica con sensores de red Scanmar
- Sensor de red Marport
- Gravímetro Micro-g-LaCoste Air-Sea System II
- Gravímetro portátil Scintrex CG-5
- Estación meteorológica automática GeónicaMeteodata

17.5. LABORATORIO HÚMEDO

a) Sistema de muestreo CUFES

El "Continuous Underwater Fish Egg Sampler" permite la obtención de huevos de especies pelágicas, ubicados en los primeros metros de la columna de agua, así como datos auxiliares, a 3m de profundidad de un barco de investigación en movimiento. Estas muestras y los datos son utilizados para investigar el hábitat de desove y estimar la biomasa reproductora.

CuFeS consta de una bomba sumergible, un concentrador y un colector de muestras. El agua es bombeada al concentrador continuamente a aprox. 600-700 litros por minuto a partir de 3 m de profundidad. Las partículas del concentrado es el 3% del flujo. El filtrado se descarga por la borda. El concentrado pasa al colector de muestras donde las partículas son retenidas en los intervalos de muestreo secuencial (por ejemplo, cada 5-30 min) en un copo de la malla del mismo tamaño que se utiliza en el concentrador.

Los huevos de peces se cuentan generalmente en el mar antes de la conservación de la muestra. Al mismo tiempo, se recogen datos auxiliares como la fecha, hora, posición, temperatura, salinidad y fluorescencia.

El sistema funciona de forma continua y en casi todas las condiciones del mar, proporcionando una estimación en tiempo real de la abundancia volumétrica de los huevos de peces pelágicos a la profundidad de la bomba. Las estimaciones derivadas de la abundancia volumétrica de CUFES son comparadas de forma regular con las estimaciones de abundancia de áreas realizadas con redes de arrastre vertical como el bongo o Calvet.

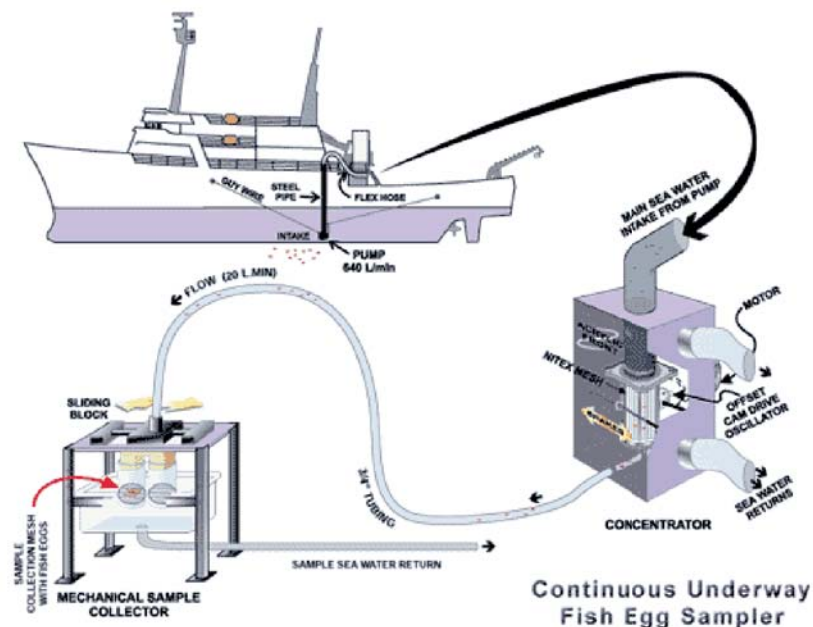


Ilustración 34. Sistema CUFES



Este sistema necesita dos bombas para su correcto funcionamiento, que proporcionen un caudal de al menos 20 m³/h cada una.

Bomba CUFES		
Marca	EBARA	-
Modelo	2CD(X)(L) 70/10	-
Nº de bombas	2	-
Caudal	20	m ³ /h
Presión	3.85	bar
Rendimiento	0.6	-
Potencia	3.50	kW
Peso	180	kg

Tabla 26. Bomba CUFES

b) Sistema de muestreo en continuo

El laboratorio húmedo puede requerir trasiego de agua, para este fin se instalarán en la cámara de máquinas dos bombas con capacidad de 10 m³/h, siendo una de ellas de respeto.

Bomba agua muestreo continuo		
Marca	EBARA	-
Modelo	CMB 1.50 T	-
Nº de bombas	2	-
Caudal	11	m ³ /h
Presión	1.98	bar
Rendimiento	0.6	-
Potencia	0.99	kW
Peso	177	kg

Tabla 27. Bomba agua muestreo continuo

17.6. LABORATORIO MULTIPROPÓSITO

Dado que el laboratorio multipropósito se instala con la finalidad de poder adecuarlo a diferentes situaciones u objetivos no se van a definir aquí sus equipos, puesto que estos dependerán de lo que el armador decida.

Se va a tomar sin embargo, a efectos de cálculo de peso, potencias y presupuestos un valor interpolado respecto de los otros laboratorios, en función de sus diferentes superficies.



17.7. CENTRO DE CÁLCULO

a) Ordenadores

En el centro de cálculo se instalarán ordenadores de gama alta para cálculos complejos, se considerará que los ordenadores incluirán pantalla y otros periféricos necesarios para su uso.

Se instalará un número de ordenadores equivalentes a una cuarta parte del número total de científicos a bordo, es decir 12 ordenadores.

Como los modelos de ordenador están en constante evolución, en vez de especificar un modelo concreto se estimará un peso genérico para los mismos, contando todos los extras y periféricos.

- Potencia unitaria 700 W
- Potencia total: 8,4 kW
- Peso unitario: 12 kg
- Peso total: 144 kg

b) Impresoras

Se instalarán dos impresoras multifunción láser a color, y al igual que en el caso de los ordenadores, se tomarán de peso genéricos en vez de un modelo concreto, puesto que con el mismo presupuesto en un periodo de tiempo inferior a un año pueden haber variado notablemente las características.

- Potencia unitaria 2,3 kW
- Potencia total: 4,6 kW
- Peso unitario: 15,6 kg
- Peso total: 31,2 kg

c) Plotter

Por si fuese necesaria la impresión de algún documento en tamaño superior al A4, se va a instalar un plotter en el centro de cálculo.

En base a lo observado en diferentes modelos se van a tomar los datos de dimensiones y consumo de un modelo genérico con pedestal, que tenga capacidad para imprimir tamaños



hasta A0 en alta resolución.

- Potencia: 140 W
- Peso: 62,9 kg

17.8. SALA DE CONTROL DEL ROV

Para las necesidades de control del ROV se van a instalar dos ordenadores de alta potencia en esta sala, serán de características semejantes a los del centro de cálculo:

- Potencia unitaria 700 W
- Potencia total: 1,4 kW
- Peso unitario: 12 kg
- Peso total: 24 kg

17.9. ROSETA CTD

Modelo Seabird SBE 32

La roseta de botellas oceanográficas recoge una o más muestras de agua para su posterior análisis en el laboratorio después de su recuperación. Las muestras de agua se pueden utilizar para verificar la exactitud de los datos medidos por los instrumentos y/o para proporcionar información adicional que no se pueda medir con un instrumento.

Puede realizar toma de muestras a profundidades de 6800, 7000 o 10.500 metros y existen modelos disponibles para 12, 24 ó 36 configuraciones de botella (1,2 a 30 litros, dependiendo del modelo y el número de posiciones de la botella). Soporta el disparo automático de las botellas así como funcionamiento en tiempo real con una Unidad de cubierta.



Ilustración 35. Roseta CTD

El modelo elegido tiene capacidad para 12 botellas hidrográficas NISKIN de 5 litros de capacidad.

- Dimensiones: Ø90cm x 110cm
- Peso (sin botellas): 42kg

Botellas NISKIN

Se llevarán 14 botellas Niskin a bordo, dos de respeto de 5 litros con cierre de gomas y abrazadera de metal.

- Peso unitario (en seco): 3,6 kg
- Peso total(en seco): 50,4 kg
- Precio unitario: 350 €



18.CONCLUSIONES

Se han decidido a lo largo de este cuaderno, los diferentes equipos a bordo del buque necesarios para su correcta operación.

Todos los elementos se han definido de acuerdo a la normativa vigente a aplicar en este caso, tanto de reglamento general como lo estipulado por la sociedad de clasificación Bureau Veritas.

Se ha procurado además, con éxito, ceñirse a lo especificado en los requisitos de proyecto, además de lograr un estudio bastante extenso de los diferentes consumos o pesos de los sistemas instalados.

Por supuesto, si bien se ha ofrecido a lo largo del cuaderno una posible disposición y número de equipos, estos podrían verse modificados por el armador en caso de que se construyera el buque y de acuerdo a lo que pudiera considerar más útil de acuerdo a las misiones para las que se destinase finalmente el presente buque.



19.BIBLIOGRAFÍA

- [1] MEIZOSO FERNÁNDEZ, MANUEL; ALVARIÑO CASTRO, RICARDO; AZPÍROZ AZPÍROZ, JUAN JOSÉ. *“El Proyecto Básico del Buque Mercante”*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval, 1997
- [2] *“Sistemas y equipos a bordo II, apuntes de clase”*, Alfonso López de Asiaín, ETSIN, 2015
- [3] *“Significant Ships”*, International Maritime 2004-2012
- [4] *“Significant Small Ships”*, International Maritime 2005-2011
- [5] <http://www.researchvessels.org/>
- [6] *“Desplazamiento, cálculo iterativo del peso en rosca y peso muerto”*, Manuel Meizoso Fernández; Jose Luis García Garcés, ETSIN, 2000
- [7] *“Fundamentos de pesca”*, Luis Santos Rodríguez; José Fernando Nuñez Basáñez, Fondo Editorial Colegio de Ingenieros Navales, 1994



PROYECTO Nº 252

BUQUE OCEANOGRÁFICO

DE 7.000 T

Cuaderno 9

Planta eléctrica

TUTOR: ELOY J. CARRILLO HONTORIA

ALUMNO: ALEJANDRO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
1.	INTRODUCCIÓN	6
2.	PLANTA ELÉCTRICA	7
2.1.	TIPO DE CORRIENTE	7
2.2.	TENSIONES Y FRECUENCIA	7
2.3.	PLANTAS Y REDES DE DISTRIBUCIÓN	8
2.4.	CUADROS DE DISTRIBUCIÓN	8
2.5.	CONVERTIDORES DE FRECUENCIA	9
3.	ILUMINACIÓN	10
3.1.	INTERIOR	10
3.2.	EXTERIOR	12
3.3.	EMERGENCIA	13
3.4.	LUCES DE NAVEGACIÓN	14
4.	CONSUMIDORES	15
4.1.	SISTEMAS AUXILIARES Y PROPULSIÓN	16
4.2.	SISTEMAS DE NAVEGACIÓN	16
4.3.	COMUNICACIÓN EXTERIOR	17
4.4.	COMUNICACIÓN INTERNA	17
4.5.	OTROS EQUIPOS	17
4.6.	TALLER	18
4.7.	ACOMODACIÓN	18
4.8.	TRATAMIENTO DE RESIDUOS Y SENTINAS	19
4.9.	SISTEMA DE LASTRE	19
4.10.	SISTEMA DE BALDEO Y CONTRA INCENDIOS	19
4.11.	HVAC	20
4.12.	ILUMINACIÓN	20
4.13.	EQUIPOS DE CUBIERTA	21
4.14.	LABORATORIOS	21
5.	SITUACIONES DE CARGA	22
5.1.	NAVEGACIÓN VELOCIDAD ECONÓMICA	22



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
5.2.	NAVEGACIÓN VELOCIDAD MÁXIMA.....	22
5.3.	ESCENARIO OCEANOGRÁFICO.....	22
5.4.	PUERTO	23
5.5.	EMERGENCIA	23
6.	BALANCE ELÉCTRICO.....	24
7.	GRUPOS GENERADORES.....	25
7.1.	PRINCIPALES	25
7.2.	PUERTO	25
7.3.	EMERGENCIA	26
8.	TRANSFORMADORES.....	27
9.	CONCLUSIONES.....	28
10.	BIBLIOGRAFÍA	29
11.	ANEXO 1: BALANCE ELÉCTRICO.....	30
12.	ANEXO 2: DIAGRAMA UNIFILAR	39



INDICE DE FIGURAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Ilustración 1. Generador principal, C32	25
	Ilustración 2. Generador de emergencia, C18	26



INDICE DE TABLAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Tabla 1. Valor medio iluminación.....	11
	Tabla 2. Iluminación interior	12
	Tabla 3. Iluminación exterior	13
	Tabla 4. Sistemas auxiliares y propulsión.....	16
	Tabla 5. Sistemas de navegación.....	16
	Tabla 6. Comunicación exterior	17
	Tabla 7. Comunicación interior	17
	Tabla 8. Otros equipos	17
	Tabla 9. Taller	18
	Tabla 10. Acomodación	18
	Tabla 11. Tratamiento de residuos y sentinas	19
	Tabla 12. Sistema de lastre	19
	Tabla 13. Sistema de baldeo y CI.....	19
	Tabla 14. HVAC.....	20
	Tabla 15. Iluminación	20
	Tabla 16. Equipos de cubierta	21
	Tabla 17. Laboratorios.....	21
	Tabla 18. Consumos 230 V	27



1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de este cuaderno se va a diseñar el sistema de iluminación tratando de ofrecer al buque dicha iluminación con una mínima calidad.

Además, el objetivo principal del presente documento es la comprobación de la capacidad operativa del buque en cuanto a potencia se refiere, es decir demostrar que los grupos generadores elegidos pueden suministrar suficiente potencia para todos los consumidores elegidos a bordo, cualquiera que sea la situación del buque.

Finalmente se realizará un diagrama unifilar de los sistemas del buque.



2. PLANTA ELÉCTRICA

La planta eléctrica del buque se compone de diferentes elementos:

- Grupos generadores principales, que se encargan de generar la electricidad necesaria a bordo del buque
- Cuadros de distribución, que permiten distribuir la potencia generada por los grupos a los diferentes consumidores de forma controlada
- Red de distribución, que permite la conexión entre los cuadros de distribución y los diferentes consumidores
- Consumidores, los diferentes elementos y sistemas del buque que consumen la energía eléctrica generada

2.1. TIPO DE CORRIENTE

Como ya se estudió en el cuaderno 7 para los motores de propulsión principales, se ha elegido la corriente alterna trifásica para el buque, debido a sus grandes ventajas frente a la corriente continua, tales como:

- Menor sección de cable
- Mayores tensiones
- Transformadores para variar la tensión de forma sencilla

Y otras ventajas ya estudiadas cuando se decidieron los motores.

2.2. TENSIONES Y FRECUENCIA

Si bien no se especifica en los requisitos de proyecto, se va a diseñar este buque, como ya se ha hecho en cuadernos anteriores para un funcionamiento con una red de frecuencia 50 Hz, que es la europea.

Esto nos define también la red de fuerza del buque, que será a la que trabajan los generadores principales, es decir 400 V, de corriente alterna trifásica ya que la mayoría de los equipos funcionan a dicha tensión, incluyendo los motores de propulsión, con excepción del motor secundario, que incluirá un transformador para ajustar la tensión. Además a 400 V existirá compatibilidad con los puertos europeos directamente.

Mediante transformadores se diseñará una red de 230 V de corriente alterna monofásica, para alumbrado y luces de navegación, así como para el resto de consumidores que no funcionen a 400 V.



Finalmente se dispondrá una red de corriente continua a 24 V, tanto para los equipos de navegación, como para los pequeños consumidores que funcionen a este voltaje.

2.3. PLANTAS Y REDES DE DISTRIBUCIÓN

Se encuentran dos plantas generadoras a bordo:

- Planta generadora principal: encargada de suministrar la energía necesaria al buque para su correcto funcionamiento en las diferentes situaciones de carga. Se compone de seis grupos electrógenos situados en la cámara de máquinas.
- Planta generadora de emergencia: Capacidad para suministrar energía a los consumidores de emergencia, en caso de fallo de la planta generadora principal. Se compone por un único grupo generador situado sobre el puente.

La red de distribución será la que se conoce como red en árbol, en la que del cuadro principal salen una serie de líneas a los cuadros secundarios, y estos a los siguientes. Cuenta con un diseño sencillo.

2.4. CUADROS DE DISTRIBUCIÓN

Los generadores principales irán directamente conectados a los cuadros principales, que se encargarán del reparto de cargas entre los distintos consumidores a esta frecuencia, además se incorporarán los convertidores de frecuencia para el control de velocidad de los motores propulsores en dichos cuadros, para compactar y ahorrar espacio.

Se conectarán a los cuadros de distribución secundaria, cuya función es la distribución y control de cargas entre los diferentes consumidores secundarios.

El cuadro de emergencia, conectado al principal, se encuentra en el local de emergencia, y se encarga de gestionar la energía generada por el generador de emergencia entre los diferentes consumidores que deban funcionar en la condición de emergencia.

Finalmente, se encuentra un cuadro de conexión a tierra, el cual no funcionará en paralelo con ninguno de los otros cuadros, y está diseñado para gestionar la energía eléctrica que reciba el buque cuando se conecte a la red de puerto.

Todos los cuadros dispondrán de pilotos, y mecanismos manuales para poder ser operados por un agente externo.



2.5. CONVERTIDORES DE FRECUENCIA

La velocidad de los motores asíncronos instalados se puede variar de forma muy precisa a partir de convertidores de frecuencia, estos se encuentran acoplados a los cuadros de distribución, siendo este un local preparado con ventilación suficiente para evacuar el calor irradiado por todos los equipos eléctricos.



3. ILUMINACIÓN

Si bien en el cuaderno 8 se realizó una visión superficial del equipamiento de iluminación a bordo, se va a definir ahora en profundidad las luminarias y potencia instaladas a bordo, tanto en el interior como en el exterior.

3.1. INTERIOR

Existen diversos métodos para estudiar las luces a instalar, si bien en este cuaderno no se persigue tanto la definición del número y características de cada luminaria como el consumo eléctrico del conjunto.

Se va a emplear por lo tanto un método simplificado de estimación de potencia eléctrica de la iluminación del buque.

Se instalarán lámparas fluorescentes en todos los locales salvo las gambuzas y la sauna, donde se van a instalar lámparas incandescentes debido a la variación de temperatura de dichos locales.

Para estimar la potencia usaremos la siguiente expresión:

$$P = 0,0025 \cdot \frac{E \cdot S}{\eta_L}$$

Donde:

- η_L , es el rendimiento lumínico, tomado como 50 lm/w para las lámparas fluorescentes y 10 lm/w para las lámparas incandescentes
- E , es el nivel medio de iluminación requerido en lux
- S , es la superficie total del local que se va a iluminar



De acuerdo a la referencia [3] El valor de E, se puede tomar, en función del local a iluminar de acuerdo a lo resumido en la siguiente tabla:

Valor medio de iluminación E	
Local	E (lux)
Puente	500-750
Pasillos	50-150
Camarotes	100-200
Cámara de máquinas	300-450
Taller	500-1000
Locales aux. CCMM	500-1000
Salas de estar	200-500
Comedores	200-500
Hospital y enfermería	500-1000
Oficinas	450-750
Baños	100-200
Pañoles	100-150
Cocina	100-200

Tabla 1. Valor medio iluminación

En cámara de máquinas están incluidas también las plantas propulsoras principal, secundaria y de proa.

En locales auxiliares de la cámara de máquinas se incluyen tanto locales eléctricos, como sala de control, y plantas de tratamientos de residuos entre otros.

Aquellos locales que no vienen definidos en la referencia se estimarán, de tal forma que se resume en la tabla siguiente los valores de iluminación E, tomados para los diferentes locales, junto con sus superficies totales y la potencia requerida finalmente para iluminar a los susodichos.



Iluminación interior				
Local	E (lux)	S (m2)	η_L	Potencia (kW)
Puente	700	267.8	50	9.37
Pasillos	100	1002.9	50	5.01
Camarotes	200	1155.5	50	11.56
Cámara de máquinas	400	606.4	50	12.13
Local de emergencia	400	114.3	50	2.29
Taller	800	23.1	50	0.92
Locales aux. CCMM	700	285.2	50	9.98
Salas de estar	400	160.3	50	3.21
Comedores	350	144.7	50	2.53
Hospital y enfermería	800	33.9	50	1.36
Oficinas	600	85.9	50	2.58
Baños	150	90.3	50	0.68
Pañoles	100	78.1	50	0.39
Cocina	200	96.1	50	0.96
Gambuzas	100	59.9	10	1.50
Laboratorios	800	242.9	50	9.72
Hangar	400	409.6	50	8.19
Sala de proyecciones	500	34.7	50	0.87
Biblioteca	500	41.9	50	1.05
Castillo de proa	400	74.2	50	1.48
Lavandería	200	23.6	50	0.24
Gimnasio y vestuarios	400	51.2	50	1.02
Sauna	150	15.6	10	0.59
Suma				87.61

Tabla 2. Iluminación interior

3.2. EXTERIOR

La iluminación exterior se definió en el cuaderno 8, y aquí se va a profundizar más, definiendo el número de luminarias y su consumo.

La iluminación exterior se dispondrá con luces fluorescentes y halógenas, de tal manera que el tránsito por el buque sea suficientemente seguro en cuanto a iluminación sin ayuda de agentes luminosos externos.

De forma más concreta, se definirán aquí el número de luces a instalar, se colocarán luces compuestas de dos tubos fluorescentes cada 4 metros en las paredes verticales que se



encuentren adyacentes a zonas de paso, estas luces consumirán 0,8 kW cada una, y se resumen en una tabla al final del punto.

Además se instalarán focos de potencia suficiente para permitir el trabajo sobre la cubierta o iluminación de la superficie marina en cualquier condición, por ejemplo durante la operación del ROV, el rescate de algún naufrago o el abandono del propio buque.

Se van a instalar 5 focos, de 1,5 kW cada uno, de la siguiente manera:

- 1 en el castillo de proa
- 2 a proa de la cubierta de trabajo, sobre el hangar
- 2 a popa cerca de las grúas sin entorpecerlas.

De forma adicional se iluminará la cubierta de trabajo con lámparas incandescentes, cada 4 metros por si se necesitasen los focos para otras labores o bien fallasen por causas externas, el consumo de cada una de ellas es de 0,6 kW.

El resumen de las luces exteriores y sus consumos se recoge en la tabla siguiente:

Iluminación exterior			
Luminaria	Número	P. unitaria (kW)	P. total (kW)
Luz zona tránsito	33	0.08	2.64
Luz cubierta trabajo	16	0.06	0.96
Focos proyectores	5	1.5	7.5
Suma			11.1

Tabla 3. Iluminación exterior

3.3. EMERGENCIA

Ya quedaron definidos en el cuaderno 8 los servicios mínimos de luces que deben encenderse en caso de emergencia:

- Luces de navegación
- Estación de radio
- Pasillos y escaleras
- Salidas de compartimentos estancos
- Puntos de reunión para el embarque de botes
- Proyectores en la zona de botes
- Indicadores de rutas de escape
- Compartimentos del generador de emergencia
- Además de permitir una iluminación reducida de:



- Cámara de máquinas
- Puente de gobierno

Se considera que el 5% de las luces instaladas de forma ordinaria para la iluminación del buque funciona como luces de emergencia, por lo que su consumo eléctrico puede estimarse entonces como 4,4 kW.

3.4. LUCES DE NAVEGACIÓN

El consumo de las luces de navegación, que ya fueron definidas en el cuaderno 8 se tomará como 3 kW.



4. CONSUMIDORES

Existen diferentes consumidores a bordo del buque, que de acuerdo la sociedad de clasificación Bureau Veritas, parte C, capítulo 2, sección 1, regla 3.3 y regla 3.4, se pueden clasificar en dos grandes grupos, servicios esenciales primarios y secundarios, de los que la propia normativa da algunos ejemplos:

- Servicios esenciales primarios: su uso es casi continuo
 - Sistema de gobierno
 - Bombas auxiliares necesarias para la propulsión (aceite, refrigeración, combustible, etc)
 - Propulsores acimutales
 - Equipo eléctrico auxiliar del sistema de propulsión
 - Sistemas de control y monitorización
 - Reguladores de velocidad
 - Equipamiento de arranque de los motores
 - Sistema de iluminación de los locales principales

- Servicios esenciales secundarios: su uso no es necesariamente continuo
 - Empujadores transversales
 - Purificadores de combustible y aceite
 - Compresores de aire
 - Sistema contra incendios
 - Detectores de incendios y señales de alarma
 - Sistema de ventilación
 - Equipamiento de comunicación interno
 - Luces de navegación
 - Sistemas de refrigeración de locales
 - Sistema de sentinas, lastre y anti escora
 - Cocina, agua sanitaria, calefacción, etc

Estos son solo algunos ejemplos principales, que sirven para orientar en la identificación de los servicios esenciales y su tipo de uso, continuo o interrumpido, ya que de eso dependerá el factor de servicio y régimen Ksr, que tiene en cuenta tanto el “servicio”, es decir la frecuencia con la que funciona el sistema, como el “régimen”, lo que se traduce en el nivel de carga del mismo, dependiendo de la situación.

A continuación se muestran los diferentes consumidores tenidos en cuenta, con las aclaraciones que se consideren necesarias en cada caso.



4.1. SISTEMAS AUXILIARES Y PROPULSIÓN

Se incluyen en sistemas auxiliares y propulsión, tanto los motores principales (mayores consumidores) como los diferentes sistemas estudiados en cuadernos previos, en particular en el cuaderno 7 a excepción de la bomba hidráulica, en el cuaderno 8.

Sistemas auxiliares y propulsión				
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn
Motor propulsor principal	2	712.5	1425	1
Motor propulsor secundario	1	2875	2875	1
Hélices transversales proa	2	1250	2500	1
Bomba trasiego	2	0.73	1.46	1
Purificadora MDO	2	1.4	2.8	0.5
Bomba de lodos	1	0.36	0.36	1
Bomba de aceite	2	0.25	0.5	1
Bomba de prelubricación	2	0.43	0.86	1
Precalentador de aceite	1	3.76	3.76	1
Purificadora aceite	1	1.4	1.4	1
Bomba purificadora aceite	1	0.36	0.36	1
Bomba refrigeración AS 80	8	6.71	53.68	1
Bomba refrigeración AD mot. ppal.	4	0.58	2.32	0.5
Bomba refrigeración AD mot. sec.	4	1.06	4.24	0.5
Compresor aire arranque	2	3.9	7.8	0.5
Compresor aire emergencia	1	2.3	2.3	1
Compresor aire servicios generales	1	1.7	1.7	2
Bomba hidráulica	2	0.43	0.86	0.5

Tabla 4. Sistemas auxiliares y propulsión

4.2. SISTEMAS DE NAVEGACIÓN

Datos de consumos tomados de buques reales.

Sistemas de navegación				
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn
Giroscópica	1	0.40	0.40	1.00
Radares	3	1.50	4.50	1.00
sonda	1	0.50	0.50	1.00
Corredera	1	0.30	0.30	1.00
Piloto automático	1	0.40	0.40	1.00
Posicionamiento Dinámico	1	3.00	3.00	1.00

Tabla 5. Sistemas de navegación



4.3. COMUNICACIÓN EXTERIOR

Datos de consumos tomados de buques reales.

Comunicación exterior				
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn
Consola de Radio	1	3.00	3.00	1.00
Receptor Navtex	1	0.10	0.10	1.00
Receptor Facsímil	1	0.10	0.10	1.00
Radioteléfono VHF	3	0.20	0.60	1.00
Comunicaciones por Satélite	1	2.00	2.00	1.00

Tabla 6. Comunicación exterior

4.4. COMUNICACIÓN INTERNA

Datos de consumos tomados de buques reales.

Comunicación interna				
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn
Altavoces de Ordenes	1	1.00	1.00	1.00
Central Telefónica	1	0.50	0.50	1.00
Comunicaciones Interiores	1	1.50	1.50	1.00

Tabla 7. Comunicación interior

4.5. OTROS EQUIPOS

Datos de consumos tomados de buques reales.

Otros equipos				
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn
Sonares	2	1.50	3.00	1.00
Indicador de posición de propulsores	1	0.20	0.20	1.00
Telégrafo de Ordenes	2	0.40	0.80	1.00
Tifón	2	0.40	0.80	1.00
Limpiaparabrisas	1	1.00	1.00	1.00
Lámpara de Señales Diurnas	1	0.10	0.10	1.00
Lámpara Morse	1	0.10	0.10	1.00
Luz de Bitácora	1	0.10	0.10	1.00
Alarmas	1	0.50	0.50	1.00

Tabla 8. Otros equipos



4.6. TALLER

Los consumos del taller se han tomado en base a consumos estándar en el mercado de los consumidores incluidos.

Taller				
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn
Torno	1	4.00	4.00	1.00
Taladro	2	1.50	3.00	0.50
Maquina de Soldar	2	10.00	20.00	0.50

Tabla 9. Taller

4.7. ACOMODACIÓN

Todos los consumos se han detallado en el cuaderno 8, a excepción de la cocina y la lavandería que se han tomado datos reales de buques con características de personal a bordo semejantes.

Acomodación				
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn
Cocina	1	45.00	45.00	1.00
Lavandería	1	15.00	15.00	1.00
Generador agua dulce	1	18	18	1
Bomba AD acomodación	2	0.82	1.64	0.5
Calentador	2	26	52	1
Bomba AD caliente	2	0.36	0.72	0.5

Tabla 10. Acomodación



4.8. TRATAMIENTO DE RESIDUOS Y SENTINAS

Se han diseñado y decidido los diferentes elementos que componen este sistema en el cuaderno 8, calculando la potencia de las bombas.

Para las potencias del incinerador y la planta de tratamiento se han tomado los datos especificados por el fabricante.

Tratamiento de residuos y sentinas				
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn
Incinerador	1	27.00	27.00	1.00
Planta tratamiento agua	1	3.50	3.50	1.00
Bomba de sentinas	2	10.00	20.00	0.50
Bomba separadora de sentinas	1	0.63	0.63	1.00
Bomba descarga (mar)	1	3.50	3.50	1.00
Bomba descarga (tierra)	1	0.52	0.52	1.00

Tabla 11. Tratamiento de residuos y sentinas

4.9. SISTEMA DE LASTRE

Estos cálculos quedan detallados en el cuaderno 8.

Sistema de lastre				
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn
Bomba anti escora	2	2.86	5.72	1.00

Tabla 12. Sistema de lastre

4.10. SISTEMA DE BALDEO Y CONTRA INCENDIOS

Estos cálculos quedan detallados en el cuaderno 8.

Sistema de baldeo y contra incendios				
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn
Bomba AS	3	2.43	7.29	1.00

Tabla 13. Sistema de baldeo y CI



4.11. HVAC

Los consumos de ventilación y calefacción quedan detallados en los cuaderno 7 y 8.

Se ha tomado como valor el de calefacción en vez de aire acondicionado por ser el primero un valor más alto y por lo tanto exigir un consumo mayor.

HVAC				
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn
Ventilación CCMM	4	37	148	1
Extracción CCMM	4	37	148	1
Ventilación equipos eléctricos	1	4	4	1
Extracción equipos eléctricos	1	4	4	1
Calefacción	1	591.6	591.6	1

Tabla 14. HVAC

4.12. ILUMINACIÓN

La potencia consumida en labores de iluminación del buque se detalla en este mismo cuaderno.

Iluminación				
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn
Iluminación exterior	1	11.1	11.1	1
Iluminación interior	1	87.61	87.61	1
Iluminación de emergencia	1	4.38	4.38	1
Luces de navegación	1	3	3	1

Tabla 15. Iluminación



4.13. EQUIPOS DE CUBIERTA

Los cálculos de potencia de los diferentes sistemas de cubierta están explicados en el cuaderno de equipos.

Equipos de cubierta				
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn
Grúa 3 t 15 m	2	16.35	32.7	1
Grúa 15 t 15 m	2	82.65	165.3	1
Grúa telescópica	1	5.45	5.45	1
Pórtico de popa	1	163.5	163.5	1
Maquinilla de cubierta	1	160	160	1
Pescante de bote rescate	2	100,5	201	1

Tabla 16. Equipos de cubierta

4.14. LABORATORIOS

El estudio de consumos de potencia de los laboratorios se ha realizado de acuerdo a lo expuesto en el cuaderno 8, y podría sufrir variaciones si decidiese variarse el equipo instalado en los mismos.

Laboratorios				
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn
Laboratorio biológico	1	4.19	4.19	1
Laboratorio geológico	1	0.19	0.19	1
Laboratorio químico	1	8.55	8.55	1
Laboratorio seco	1	2.80	2.80	1
Laboratorio húmedo	1	8.90	8.90	1
Laboratorio multipropósito	1	6.50	6.50	1
Centro de cálculo	1	13.14	13.14	1
Sala control ROV	1	1.40	1.40	1

Tabla 17. Laboratorios



5. SITUACIONES DE CARGA

Las situaciones de carga se definen como los diferentes escenarios de trabajo en los que puede encontrarse el buque, y en cada uno de ellos la distribución de cargas eléctricas será diferente, y por tanto el número de grupos generadores y sus regímenes de trabajo variarán igualmente.

5.1. NAVEGACIÓN VELOCIDAD ECONÓMICA

Esta es la condición de operación más común del buque, navegando a la velocidad de servicio o económica, definida en los requisitos de proyecto como 11 nudos.

Todos los sistemas auxiliares de navegación estarán activos asegurando el correcto funcionamiento del buque.

También se encontrarán activos el resto de servicios de acomodación y laboratorios que puedan operarse durante la navegación normal.

5.2. NAVEGACIÓN VELOCIDAD MÁXIMA

En este caso los sistemas activos serán bastante semejantes a los del punto anterior, pero para la condición de velocidad máxima definida en los requisitos de proyecto, y que pertenece a una velocidad de 15 nudos.

En este caso algunos de los sistemas necesitarán un régimen de trabajo mayor que en la situación anterior, además de la inclusión del propulsor secundario en el balance.

5.3. ESCENARIO OCEANOGRÁFICO

Si bien este es un término bastante amplio, pues el buque no tiene un escenario oceanográfico concreto definido, se ha decidido realizar un estudio en un escenario genérico en el que se va a operar el ROV, esto es ponerlo a flote o devolverlo al hangar, y en el mismo escenario se empleará la grúa telescópica para tomar muestras con la roseta CTD.

Además los científicos, al recibir muestras en directo estarán trabajando más en los laboratorios, aumentando el consumo de los mismos.



5.4. PUERTO

En la condición de puerto el buque tendrá activos solo los servicios mínimos de funcionamiento y habilitación, sin nada de propulsión o gobierno activos.

Esta situación es importante de estudiar pues se definirá si es necesario instalar un generador adicional para la estancia en puerto o si por el contrario con los principales funciona a un régimen aceptable.

5.5. EMERGENCIA

Para la situación de emergencia deberán asegurarse un mínimo de servicios básicos para el funcionamiento del buque, mitigación de los daños y, en el peor de los casos para el abandono del mismo si no queda otro remedio.



6. BALANCE ELÉCTRICO

El balance eléctrico completo se adjunta en el anexo 1, al final de este cuaderno.

Se va a usar un factor de potencia diferente en el caso de los motores propulsores, por ser estos los consumidores más notables y estar proporcionado dicho valor por el fabricante, de la siguiente manera:

- $\cos\varphi_{Mot.ppal.} = 0,86$
- $\cos\varphi_{Mot.sec.} = 0,89$
- $\cos\varphi_{Mot.transv.} = 0,88$

En base a los resultados obtenidos en el balance eléctrico podrán decidirse los diferentes generadores a instalar.

Para el resto de consumidores, es una práctica aceptada, más aún en esta fase de proyecto tomar como valor estándar f.d.p. = 0,8, de acuerdo a la referencia [2].

El resumen de las potencias consumidas organizadas por sistemas para cada una de las situaciones de trabajo se muestra al final del anexo 1, así como los grupos generadores elegidos para cada situación y su carga de trabajo.

7. GRUPOS GENERADORES

Se van a definir a continuación, y en base a lo estudiado a lo largo de este cuaderno, concretamente en el balance eléctrico, los diferentes grupos generadores a instalar para suplir la energía necesaria en todas las situaciones del buque.

7.1. PRINCIPALES

Se van a instalar 6 generadores principales, 3 por local de cámara de máquinas, tal y como se definieron en el cuaderno 7 referente a la cámara de máquinas, el modelo será:

Caterpillar C32, 800 kW, 1000 kVA, a 400 V y 50 Hz.



Ilustración 1. Generador principal, C32

7.2. PUERTO

No se va a instalar un generador de puerto concreto, si no que se empleará uno de los generadores principales para tal fin.

7.3. EMERGENCIA

El generador de emergencia a emplear, será un modelo C18.

Caterpillar C18, 550 kW, 688 kVA, a 400 V y 50 Hz.

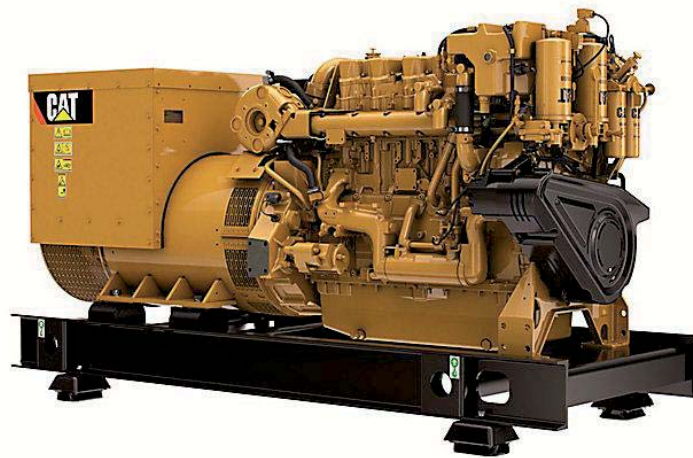


Ilustración 2. Generador de emergencia, C18



8. TRANSFORMADORES

Los transformadores se encargarán de asegurar la existencia de diferentes líneas de tensión, mediante la conversión de la tensión de la red de fuerza primaria a la secundaria a través de dos transformadores 400/230.

Adicionalmente se instalará un tercer transformador para convertir la tensión de la red de emergencia de 400 V a 230 V.

A fin de conocer la capacidad de los transformadores se estudiarán los consumidores a 230 V, en las diferentes situaciones de carga para ver cuál es la que mayor potencia consume (todos los datos en kVA):

Consumos 230 V				
Velocidad económica	Velocidad máxima	Esc. oceanográfico	Puerto	Emergencia
110.18	104.65	124.81	87.94	123.56

Tabla 18. Consumos 230 V

Luego los transformadores principales tendrán que ser capaces de hacer frente a la demanda del escenario oceanográfico, estimada en ~124,8 kVA.

Para el local de emergencia se instalará un transformador de igual características, por ser ~123,5 kVA.

Se instalarán por tanto tres transformadores 400/230 V de 160 kVA.



9. CONCLUSIONES

Se ha demostrado a lo largo de este cuaderno la viabilidad eléctrica del proyecto, al comprobar que puede hacer frente a las diversas situaciones a las que puede enfrentarse durante su vida operacional normal, gracias a la gran versatilidad que ofrecen seis grupos generadores.

Además se ha estudiado la iluminación del buque y los consumos de la misma para que pueda ofrecer una calidad de luz adecuada según el local al que se destine.

Finalmente se han calculado los transformadores y diseñado el diagrama unifilar, documento de alta utilidad para conocer rápidamente la distribución eléctrica del buque.



10.BIBLIOGRAFÍA

- [1] MEIZOSO FERNÁNDEZ, MANUEL; ALVARIÑO CASTRO, RICARDO; AZPÍROZ AZPÍROZ, JUAN JOSÉ. *“El Proyecto Básico del Buque Mercante”*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval, 1997
- [2] LÓPEZ PIÑEIRO, AMABLE. *“Diseño General de la Planta Eléctrica. Sistemas Eléctricos y Electrónicos a Bordo”*. ETSIN, 2013
- [3] LÓPEZ PIÑEIRO, AMABLE. *“Iluminación a Bordo. Sistemas Eléctricos y Electrónicos a Bordo”*. ETSIN, 2013
- [4] LÓPEZ PIÑEIRO, AMABLE. *“Distribución Eléctrica a Bordo. Sistemas Eléctricos y Electrónicos a Bordo”*. ETSIN, 2013



11.ANEXO 1: BALANCE ELÉCTRICO



Sistemas auxiliares de propulsión					Navegación velocidad económica			Navegación velocidad máxima			Escenario oceanográfico			Puerto			Emergencia		
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)
Motor propulsor principal	2	712.50	1425.00	1.00	0.80	1140.00	1325.58	0.90	1282.50	1491.28	1.00	1425.00	1656.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Motor propulsor secundario	1	2875.00	2875.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.90	2587.50	2907.30	0.20	575.00	646.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hélices transversales proa	2	700.00	1400.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1400.00	1590.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bomba trasiego	2	0.73	1.46	1.00	0.20	0.29	0.37	0.20	0.29	0.37	0.20	0.29	0.37	0.20	0.29	0.37	0.00	0.00	0.00
Purificadora MDO	2	1.40	2.80	0.50	0.60	0.84	1.05	0.80	1.12	1.40	0.60	0.84	1.05	0.60	0.84	1.05	0.00	0.00	0.00
Bomba de lodos	1	0.36	0.36	1.00	0.60	0.22	0.27	0.80	0.29	0.36	0.40	0.14	0.18	0.40	0.14	0.18	0.00	0.00	0.00
Bomba de aceite	2	0.25	0.50	1.00	0.60	0.30	0.38	0.80	0.40	0.50	0.40	0.20	0.25	0.40	0.20	0.25	0.00	0.00	0.00
Bomba de prelubricación	2	0.43	0.86	1.00	0.20	0.17	0.22	0.20	0.17	0.22	0.20	0.17	0.22	0.20	0.17	0.22	0.00	0.00	0.00
Precalentador de aceite	1	3.76	3.76	1.00	0.60	2.26	2.82	0.70	2.63	3.29	0.40	1.50	1.88	0.40	1.50	1.88	0.00	0.00	0.00
Purificadora aceite	1	1.40	1.40	1.00	0.60	0.84	1.05	0.70	0.98	1.23	0.40	0.56	0.70	0.40	0.56	0.70	0.00	0.00	0.00
Bomba purificadora aceite	1	0.36	0.36	1.00	0.60	0.22	0.27	0.70	0.25	0.32	0.40	0.14	0.18	0.40	0.14	0.18	0.00	0.00	0.00
Bomba refrigeración AS 80	8	6.71	53.68	0.75	0.50	20.13	25.16	0.70	28.18	35.23	0.40	16.10	20.13	0.40	16.10	20.13	0.00	0.00	0.00
Bomba refrigeración AD mot. ppal.	4	0.58	2.32	0.50	0.80	0.93	1.16	0.70	0.81	1.02	0.80	0.93	1.16	0.50	0.58	0.73	0.00	0.00	0.00
Bomba refrigeración AD mot. sec.	4	1.06	4.24	0.50	0.00	0.00	0.00	0.70	1.48	1.86	0.80	1.70	2.12	0.50	1.06	1.33	0.00	0.00	0.00
Compresor aire arranque	2	3.90	7.80	0.50	0.10	0.39	0.49	0.10	0.39	0.49	0.10	0.39	0.49	0.20	0.78	0.98	0.20	0.78	0.98
Compresor aire emergencia	1	2.3	2.3	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.92	1.15
Compresor aire servicios generales	1	1.70	1.70	1.00	0.10	0.17	0.21	0.10	0.17	0.21	0.40	0.68	0.85	0.20	0.34	0.43	0.20	0.34	0.43
Bomba hidráulica	2	0.43	0.86	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.26	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total auxiliares de propulsión						1166.75	1359.02		3907.17	4445.05		3423.91	3923.84		22.72	28.40		2.04	2.55

Navegación					Navegación velocidad económica			Navegación velocidad máxima			Escenario oceanográfico			Puerto			Emergencia		
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)



Giroscópica	1	0.40	0.40	1.00	1.00	0.40	0.50	1.00	0.40	0.50	1.00	0.40	0.50	0.80	0.32	0.40	0.80	0.32	0.40
Radars	3	1.50	4.50	1.00	1.00	4.50	5.63	1.00	4.50	5.63	1.00	4.50	5.63	0.60	2.70	3.38	0.80	3.60	4.50
sonda	1	0.50	0.50	1.00	1.00	0.50	0.63	1.00	0.50	0.63	1.00	0.50	0.63	0.60	0.30	0.38	0.80	0.40	0.50
Corredera	1	0.30	0.30	1.00	1.00	0.30	0.38	1.00	0.30	0.38	1.00	0.30	0.38	0.60	0.18	0.23	0.80	0.24	0.30
Piloto automático	1	0.40	0.40	1.00	1.00	0.40	0.50	1.00	0.40	0.50	1.00	0.40	0.50	0.00	0.00	0.00	0.80	0.32	0.40
Posicionamiento Dinámico	1	3.00	3.00	1.00	0.60	1.80	2.25	0.60	1.80	2.25	1.00	3.00	3.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total navegación						7.90	9.88		7.90	9.88		9.10	11.38		3.50	4.38		4.88	6.10

Comunicación exterior					Navegación velocidad económica			Navegación velocidad máxima			Escenario oceanográfico			Puerto			Emergencia		
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)
Consola de Radio	1	3.00	3.00	1.00	0.60	1.80	2.25	0.60	1.80	2.25	0.60	1.80	2.25	0.50	1.50	1.88	0.80	2.40	3.00
Receptor Navtex	1	0.10	0.10	1.00	0.60	0.06	0.08	0.60	0.06	0.08	0.60	0.06	0.08	0.50	0.05	0.06	0.80	0.08	0.10
Receptor Facsimil	1	0.10	0.10	1.00	0.60	0.06	0.08	0.60	0.06	0.08	0.60	0.06	0.08	0.50	0.05	0.06	0.80	0.08	0.10
Radioteléfono VHF	3	0.20	0.60	1.00	0.60	0.36	0.45	0.60	0.36	0.45	0.60	0.36	0.45	0.50	0.30	0.38	0.80	0.48	0.60
Comunicaciones por Satélite	1	2.00	2.00	1.00	0.60	1.80	2.25	0.60	1.80	2.25	0.60	1.80	2.25	0.50	1.50	1.88	0.80	2.40	3.00
Total comunicación exterior						4.08	5.10		4.08	5.10		4.08	5.10		3.40	4.25		5.44	6.80

Comunicación interna					Navegación velocidad económica			Navegación velocidad máxima			Escenario oceanográfico			Puerto			Emergencia		
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)
Altavoces de Ordenes	1	1.00	1.00	1.00	0.40	0.40	0.50	0.40	0.40	0.50	0.60	0.60	0.75	0.30	0.30	0.38	0.80	0.80	1.00
Central Telefónica	1	0.50	0.50	1.00	0.40	0.20	0.25	0.40	0.20	0.25	0.60	0.30	0.38	0.30	0.15	0.19	0.80	0.40	0.50
Comunicaciones Interiores	1	1.50	1.50	1.00	0.40	0.60	0.75	0.40	0.60	0.75	0.60	0.90	1.13	0.30	0.45	0.56	0.80	1.20	1.50
Total comunicación interna						1.20	1.50		1.20	1.50		1.80	2.25		0.90	1.13		2.40	3.00



Otros equipos					Navegación velocidad económica			Navegación velocidad máxima			Escenario oceanográfico			Puerto			Emergencia		
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)
Sonares	2	1.50	3.00	1.00	0.80	2.40	3.00	0.80	2.40	3.00	0.80	2.40	3.00	0.20	0.60	0.75	0.20	0.60	0.75
Indicador de posición de propulsores	1	0.20	0.20	1.00	0.80	0.16	0.20	0.80	0.16	0.20	0.80	0.16	0.20	0.20	0.04	0.05	0.60	0.12	0.15
Telégrafo de Ordenes	2	0.40	0.80	1.00	0.60	0.48	0.60	0.60	0.48	0.60	0.70	0.56	0.70	0.20	0.16	0.20	0.60	0.48	0.60
Tifón	2	0.40	0.80	1.00	0.20	0.16	0.20	0.20	0.16	0.20	0.30	0.24	0.30	0.20	0.16	0.20	0.20	0.16	0.20
Limpiaparabrisas	1	1.00	1.00	1.00	0.40	0.40	0.50	0.40	0.40	0.50	0.40	0.40	0.50	0.20	0.20	0.25	0.20	0.20	0.25
Lámpara de Señales Diurnas	1	0.10	0.10	1.00	0.20	0.02	0.03	0.20	0.02	0.03	0.20	0.02	0.03	0.20	0.02	0.03	0.80	0.08	0.10
Lámpara Morse	1	0.10	0.10	1.00	0.20	0.02	0.03	0.20	0.02	0.03	0.20	0.02	0.03	0.20	0.02	0.03	0.80	0.08	0.10
Luz de Bitácora	1	0.10	0.10	1.00	0.80	0.08	0.10	0.80	0.08	0.10	0.80	0.08	0.10	0.20	0.02	0.03	0.60	0.06	0.08
Alarmas	1	0.50	0.50	1.00	0.30	0.15	0.19	0.30	0.15	0.19	0.40	0.20	0.25	0.40	0.20	0.25	0.80	0.40	0.50
Total otros equipos						3.87	4.84		3.87	4.84		4.08	5.10		1.42	1.78		2.18	2.73

HVAC					Navegación velocidad económica			Navegación velocidad máxima			Escenario oceanográfico			Puerto			Emergencia		
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)
Ventilación CCMM	4	37.00	148.00	1.00	0.50	74.00	92.50	0.80	118.40	148.00	0.60	88.80	111.00	0.30	44.40	55.50	0.50	74.00	92.50
Extracción CCMM	4	37.00	148.00	1.00	0.50	74.00	92.50	0.80	118.40	148.00	0.60	88.80	111.00	0.30	44.40	55.50	0.50	74.00	92.50
Ventilación local emergencia	1	30	30	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	15.00	18.75
Extracción local emergencia	1	30	30	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	18.00	22.50
Ventilación equipos eléctricos	1	4.00	4.00	1.00	0.60	2.40	3.00	0.70	2.80	3.50	0.40	1.60	2.00	0.30	1.20	1.50	0.60	2.40	3.00
Extracción equipos eléctricos	1	4.00	4.00	1.00	0.60	2.40	3.00	0.70	2.80	3.50	0.40	1.60	2.00	0.30	1.20	1.50	0.60	2.40	3.00
Calefacción	1	591.60	591.60	1.00	0.60	354.96	443.70	0.60	354.96	443.70	0.60	354.96	443.70	0.60	354.96	443.70	0.00	0.00	0.00
Total HVAC						507.76	634.70		597.36	746.70		535.76	669.70		446.16	557.70		185.80	232.25



Acomodación					Navegación velocidad económica			Navegación velocidad máxima			Escenario oceanográfico			Puerto			Emergencia		
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)
Cocina	1	45.00	45.00	1.00	0.50	22.50	28.13	0.50	22.50	28.13	0.50	22.50	28.13	0.40	18.00	22.50	0.00	0.00	0.00
Lavandería	1	15.00	15.00	1.00	0.60	9.00	11.25	0.60	9.00	11.25	0.60	9.00	11.25	0.40	6.00	7.50	0.00	0.00	0.00
Generador agua dulce	1	18.00	18.00	1.00	0.50	9.00	11.25	0.50	9.00	11.25	0.50	9.00	11.25	0.10	1.80	2.25	0.00	0.00	0.00
Bomba AD acomodación	2	0.82	1.64	0.50	0.50	0.41	0.51	0.50	0.41	0.51	0.50	0.41	0.51	0.40	0.33	0.41	0.00	0.00	0.00
Calentador	2	26.00	52.00	1.00	0.40	20.80	26.00	0.40	20.80	26.00	0.40	20.80	26.00	0.20	10.40	13.00	0.00	0.00	0.00
Bomba AD caliente	2	0.36	0.72	0.50	0.50	0.18	0.23	0.50	0.18	0.23	0.50	0.18	0.23	0.40	0.14	0.18	0.00	0.00	0.00
Total acomodación						61.89	77.36		61.89	77.36		61.89	77.36		36.67	45.84		0.00	0.00

Taller					Navegación velocidad económica			Navegación velocidad máxima			Escenario oceanográfico			Puerto			Emergencia		
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)
Torno	1	4.00	4.00	1.00	0.20	0.80	1.00	0.20	0.80	1.00	0.20	0.80	1.00	0.20	0.80	1.00	0.00	0.00	0.00
Taladro	2	1.50	3.00	0.50	0.20	0.30	0.38	0.20	0.30	0.38	0.20	0.30	0.38	0.20	0.30	0.38	0.00	0.00	0.00
Maquina de Soldar	2	10.00	20.00	0.50	0.20	2.00	2.50	0.20	2.00	2.50	0.20	2.00	2.50	0.20	2.00	2.50	0.00	0.00	0.00
Total taller						3.10	3.88		3.10	3.88		3.10	3.88		3.10	3.88		0.00	0.00

Sistema de lastre					Navegación velocidad económica			Navegación velocidad máxima			Escenario oceanográfico			Puerto			Emergencia		
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)
Bomba lastre	2	2.86	5.72	1.00	0.50	2.86	5.72	0.50	2.86	5.72	0.50	2.86	5.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total antiescora						2.86	5.72		2.86	5.72		2.86	5.72		0.00	0.00		0.00	0.00

Sistema de baldeo y contraincendios					Navegación velocidad económica			Navegación velocidad máxima			Escenario oceanográfico			Puerto			Emergencia		
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)



Tutor: Eloy J. Carrillo Hontoria

Equipos de cubierta					Navegación velocidad económica			Navegación velocidad máxima			Escenario oceanográfico			Puerto			Emergencia		
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)
Grúa 3 t 15 m	2	16.35	32.7	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	9.81	12.26	0.30	9.81	12.26	0.00	0.00	0.00



Grúa 15 t 15 m	2	82.65	165.3	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	49.59	61.99	0.10	16.53	20.66	0.00	0.00	0.00
Grúa telescópica	1	5.45	5.45	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	1.64	2.04	0.20	1.09	1.36	0.00	0.00	0.00
Pórtico de popa	1	163.5	163.5	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	65.40	81.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maquinilla de cubierta	1	160	160	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	48.00	60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pescante de bote rescate	2	100.5	201	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	201.00	251.25
Total equipos de cubierta						0.00	0.00		0.00	0.00		174.44	218.04		27.43	34.29		201.00	251.25

Laboratorios					Navegación velocidad económica			Navegación velocidad máxima			Escenario oceanográfico			Puerto			Emergencia		
Elemento	nº instaladas	P unit. (kW)	P instalada (kW)	Kn	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)	Ksr	P (kW)	S (kVA)
Laboratorio biológico	1	4.19	4.19	1	0.60	2.51	3.14	0.50	2.10	2.62	0.80	3.35	4.19	0.40	1.68	2.10	0.00	0.00	0.00
Laboratorio geológico	1	0.19	0.19	1	0.60	0.11	0.14	0.50	0.09	0.12	0.80	0.15	0.19	0.40	0.07	0.09	0.00	0.00	0.00
Laboratorio químico	1	8.55	8.55	1	0.60	5.13	6.41	0.50	4.27	5.34	0.80	6.84	8.55	0.40	3.42	4.27	0.00	0.00	0.00
Laboratorio seco	1	2.80	2.80	1	0.60	1.68	2.10	0.50	1.40	1.75	0.80	2.24	2.80	0.40	1.12	1.40	0.00	0.00	0.00
Laboratorio húmedo	1	8.90	8.90	1	0.60	5.34	6.68	0.50	4.45	5.56	0.80	7.12	8.90	0.40	3.56	4.45	0.00	0.00	0.00
Laboratorio multipropósito	1	6.50	6.50	1	0.60	3.90	4.88	0.50	3.25	4.06	0.80	5.20	6.50	0.40	2.60	3.25	0.00	0.00	0.00
Centro de cálculo	1	13.14	13.14	1	0.60	7.88	9.86	0.50	6.57	8.21	0.80	10.51	13.14	0.40	5.26	6.57	0.00	0.00	0.00
Sala control ROV	1	1.40	1.40	1	0.20	0.28	0.35	0.20	0.28	0.35	0.80	1.12	1.40	0.20	0.28	0.35	0.00	0.00	0.00
Total laboratorios						26.84	33.55		22.41	28.01		36.53	45.66		17.99	22.48		0.00	0.00



Sistemas	RESUMEN BALANCE									
	Navegación velocidad económica		Navegación velocidad máxima		Escenario oceanográfico		Puerto		Emergencia	
	P (kW)	S (kVA)	P (kW)	S (kVA)	P (kW)	S (kVA)	P (kW)	S (kVA)	P (kW)	S (kVA)
Auxiliares y propulsión	1166.75	1359.02	3907.17	4445.05	3423.91	3923.84	22.72	28.40	2.04	2.55
Navegación	7.90	9.88	7.90	9.88	9.10	11.38	3.50	4.38	4.88	6.10
Comunicación exterior	4.08	5.10	4.08	5.10	4.08	5.10	3.40	4.25	5.44	6.80
Comunicación interna	1.20	1.50	1.20	1.50	1.80	2.25	0.90	1.13	2.40	3.00
Otros equipos	3.87	4.84	3.87	4.84	4.08	5.10	1.42	1.78	2.18	2.73
HVAC	507.76	634.70	597.36	746.70	535.76	669.70	446.16	557.70	185.80	232.25
Acomodación	61.89	77.36	61.89	77.36	61.89	77.36	36.67	45.84	0.00	0.00
Taller	3.10	3.88	3.10	3.88	3.10	3.88	3.10	3.88	0.00	0.00
Lastre	2.86	3.58	2.86	3.58	2.86	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00
Baldeo y contraincendios	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.29	9.11
Tratamiento de residuos y sentinas	25.38	31.72	25.38	31.72	24.68	30.85	20.67	25.84	8.00	10.00
Iluminación	44.26	55.32	44.26	55.32	44.26	55.32	43.15	53.93	83.95	104.94
Equipos de cubierta	0.00	0.00	0.00	0.00	174.44	218.04	27.43	34.29	201.00	251.25
Laboratorios	26.84	33.55	22.41	28.01	36.53	45.66	17.99	22.48	0.00	0.00
Suma	1853.02	2216.86	4678.62	5409.36	4323.62	5048.48	627.10	783.88	502.98	628.73



Resumen cargas					
Situación	Velocidad económica	Velocidad máxima	Esc. oceanográfico	Puerto	Emergencia
Potencia real (kW)	1853.02	4678.62	4323.62	627.10	502.98
Potencia aparente (kVA)	2216.86	5409.36	5048.48	783.88	628.73
Tipo generador	<i>Principal (C32)</i>	<i>Principal (C32)</i>	<i>Principal (C32)</i>	<i>Principal (C32)</i>	<i>Emergencia (C18)</i>
nº generadores	3	6	6	1	1
Potencia generada (kVA)	3000	6000	6000	1000	700
Régimen	73.9%	90.2%	84.1%	78.4%	89.8%



12.ANEXO 2: DIAGRAMA UNIFILAR

PFC Nº 252: BUQUE OCEANOGRÁFICO 7000 T

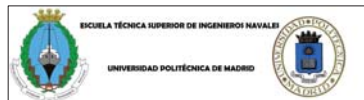
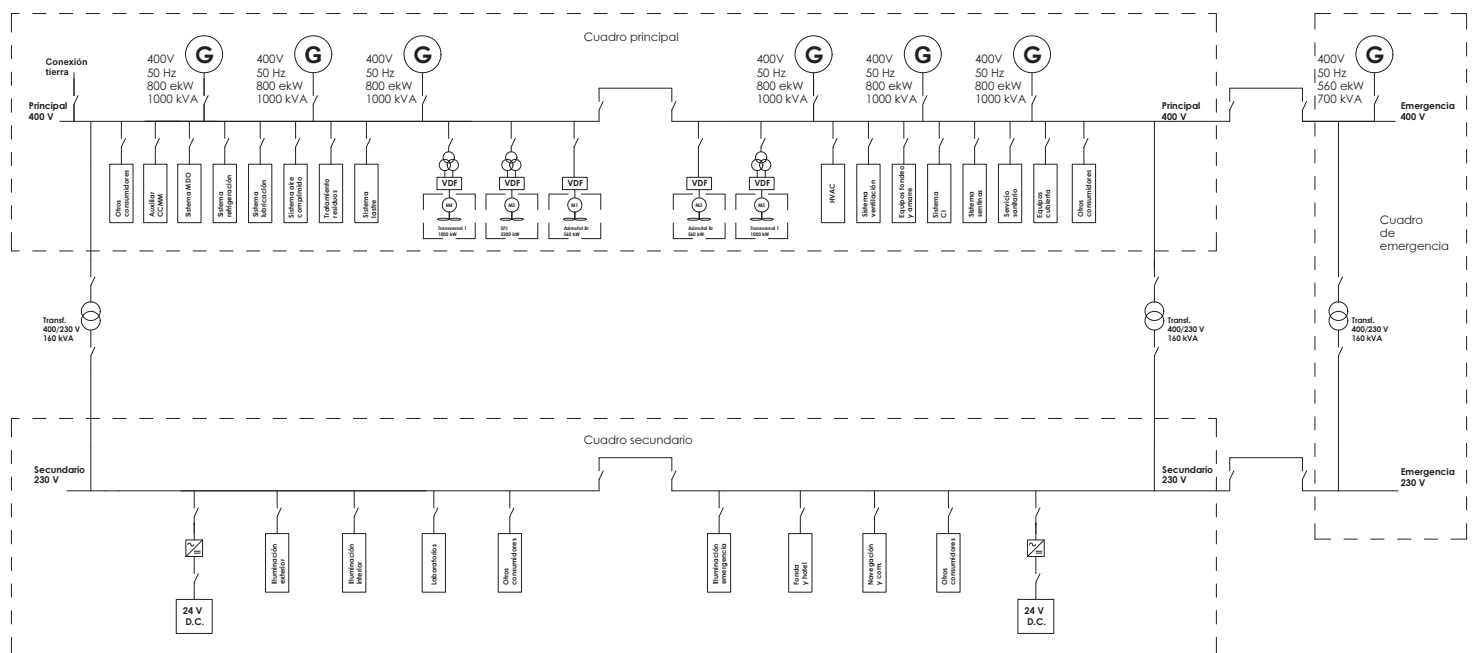


DIAGRAMA UNIFILAR		Plano: 901	Escala: -	Formato: A2
Alumno: Alejandro Rodríguez Rodríguez			Fecha: 21/05/2015	
Tutor: Eloy J. Carrillo Hontoria			Hoja: 1 de 1	



PROYECTO Nº 252

BUQUE OCEANOGRÁFICO

DE 7.000 T

Cuaderno 10

Resistencia estructural

TUTOR: ELOY J. CARRILLO HONTORIA

ALUMNO: ALEJANDRO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
1.	INTRODUCCIÓN	7
2.	DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA	8
2.1.	TIPO DE ESTRUCTURA.....	8
2.2.	PARÁMETROS REGLAMENTARIOS	8
2.2.1.	ESLORA DE ESCANTILLONADO	8
2.2.2.	MANGA DE ESCANTILLONADO.....	9
2.2.3.	CALADO DE ESCANTILLONADO	9
2.2.4.	PUNTAL DE TRAZADO	9
2.2.5.	COEFICIENTE DE BLOQUE	9
2.2.6.	POSICIÓN DE LA CUADERNA MAESTRA	9
2.3.	MATERIALES.....	10
2.4.	SISTEMA DE REFERENCIA	12
3.	RESISTENCIA GENERAL	13
3.1.	PARÁMETRO DE OLA	13
3.2.	FACTOR DE NAVEGACIÓN	13
3.3.	MOMENTOS FLECTORES POR OLAS	14
3.3.1.	MOMENTO DE ARRUFO (SAGGING).....	14
3.3.2.	MOMENTO DE QUEBRANTO (HOGGING)	15
3.4.	ESFUERZOS CORTANTES POR OLAS	16
3.4.1.	ESFUERZOS POSITIVOS	17
3.4.2.	ESFUERZOS NEGATIVOS	17
3.5.	MÓDULO MÍNIMO DE LA SECCIÓN MAESTRA.....	19
3.6.	MOMENTO DE INERCIA DE LA SECCIÓN MAESTRA	21
4.	RESISTENCIA LOCAL	23
4.1.	PRESIÓN DEL MAR	23
4.1.1.	PRESIÓN EN AGUAS TRANQUILAS	23
4.1.2.	PRESIÓN EN OLAS	25
4.2.	PRESIÓN DE CARGAS LÍQUIDAS	34



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
4.2.1.	PRESIÓN EN AGUAS TRANQUILAS	34
4.2.2.	PRESIÓN INERCIAL	36
4.3.	ESCANTILLONADO SEGÚN NORMATIVA	41
4.3.1.	DOBLE FONDO	41
4.3.2.	COSTADO	43
4.3.3.	CUBIERTA RESISTENTE	43
4.3.4.	CUBIERTA ACOMODACIÓN	43
4.3.5.	MAMPAROS ESTANCOS	44
4.3.6.	MAMPAROS DE TANQUES	44
4.4.	ESCANTILLONADO DEBIDO A LAS PRESIONES DE MAR	45
4.4.1.	DOBLE FONDO	47
4.4.2.	PANTOQUE	48
4.4.3.	COSTADO	48
4.4.4.	CUBIERTA RESISTENTE	49
4.5.	ESCANTILLONADO POR CARGAS LOCALES	49
4.5.1.	FONDO	49
4.5.2.	PANTOQUE	50
4.5.3.	COSTADO	50
4.5.4.	MAMPAROS DE TANQUES	50
4.5.5.	ACOMODACIÓN Y MAQUINARIA	51
4.6.	RESUMEN ESPESORES	52
5.	ESTRUCTURA Y REFUERZOS	54
5.1.	FONDO Y DOBLE FONDO	55
5.2.	PANTOQUE Y COSTADOS	57
5.3.	CUBIERTAS Y MAMPAROS	57
6.	MARS 2000	59
6.1.	DATOS ENTRADA	59
6.1.1.	ESPESORES PLANCHA	59
6.1.2.	TIPO DE MAMPARO	60



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
6.1.3.	REFUERZOS LONGITUDINALES	60
6.2.	RESULTADOS	61
6.2.1.	MÓDULO DE SECCIÓN, INERCIA Y EJE NEUTRAL.....	61
6.2.2.	CARGAS LOCALES	63
6.2.3.	DEFORMACIONES	63
7.	CONCLUSIONES.....	65
8.	BIBLIOGRAFÍA	66
9.	ANEXO 1: PERFILES BULBO COMERCIALES	67
10.	ANEXO 2: CUADERNA MAESTRA Y SECCIONES DE PROA Y POPA.....	68
11.	ANEXO 3: RESULTADOS MARS 2000	69



INDICE DE FIGURAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Figura 1. Tipos de acero	10
	Figura 2. Características aceros.....	10
	Figura 3. Clases o grados	11
	Figura 4. Tipo de acero según clase	11
	Figura 5. Sistema de referencia, movimiento	12
	Figura 6. Sistema de referencia, esfuerzos y momentos	12
	Figura 7. Factor de navegación	13
	Figura 8. Distribución de F_m	14
	Figura 9. Distribución de momentos flectores.....	16
	Figura 10. Distribución de F_q	16
	Figura 11. Distribución de esfuerzos cortantes.....	19
	Figura 12. Presión de mar	24
	Figura 13. Caso A.....	26
	Figura 14. Caso B	28
	Figura 15. Caso C	30
	Figura 16. Caso D.....	32
	Figura 17. Cargas acomodación	51
	Figura 18. Márgenes espesores.....	52
	Figura 19. Espesores planchas	59
	Figura 20. Tipo de mamparo	60
	Figura 21. Refuerzos longitudinales	61
	Figura 22. Cuaderna maestra, eje neutro	62
	Figura 23. Cargas de la cuaderna maestra	63
	Figura 24. Deformaciones cuaderna maestra	64



INDICE DE TABLAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Tabla 1. Momentos flectores	15
	Tabla 2. Esfuerzos cortantes	18
	Tabla 3. Momentos flectores máximos.....	20
	Tabla 4. Presión del mar en aguas tranquilas	25
	Tabla 5. Presiones de olas	34
	Tabla 6. Presión de carga líquida aguas tranquilas	35
	Tabla 7. Presión inercial	41
	Tabla 8. Presiones cargas acomodación.....	51
	Tabla 9. Espesores plancha cuaderna maestra	53



1. INTRODUCCIÓN

En este cuaderno se va a definir la estructura del buque. Lo primero que debe hacerse es decidir el tipo de estructura que se va a disponer en el buque, así como el material con que se construirá.

A lo largo del cuaderno se definirán los espesores mínimos que deben tener las planchas a fin de soportar las diferentes cargas a las que se encuentren sometidas durante la operación del buque.

Una vez definidos los espesores se deberán calcular los refuerzos tanto longitudinales como transversales a disponer.

A fin de comprobar y simplificar algunos cálculos se va a emplear el programa “MARS2000” de Bureau Veritas.



2. DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA

Antes de comenzar a realizar los cálculos necesarios conviene definir una serie de parámetros previos, que se definirán en los puntos siguientes.

2.1. TIPO DE ESTRUCTURA

La estructura resistente puede ser de dos tipos principalmente:

- Longitudinal
- Transversal

La longitudinal suele emplearse en buques de gran eslora ya que sus refuerzos longitudinales ayudan a reducir los momentos flectores y esfuerzos cortantes a lo largo de la eslora, además de evitar un incremento de peso excesivo, sin embargo utiliza un número más elevado de elementos constructivos y su comportamiento al cizallamiento es peor.

Además se requiere igualmente reforzar transversalmente la estructura.

Sin embargo la estructura transversal, si bien no padece estos inconvenientes, por el contrario son menos resistentes a esfuerzos locales.

Finalmente se ha decidido disponer un tipo de estructura longitudinal en el cuerpo central y transversal en las secciones de proa y popa, más adecuada para buques de mediano tamaño como el presente.

2.2. PARÁMETROS REGLAMENTARIOS

Se van a definir a continuación una serie de parámetros o valores definidos por la sociedad de clasificación pertinente (Bureau Veritas) para realizar correctamente los cálculos de escantillado y módulo de la sección maestra.

Además de todas las reglas aplicables para buques de construcción de acero en general, se considerará, a efectos constructivos el presente proyecto como buque “supply”, tal y como se especifica en la parte D, capítulo 15 del Bureau Veritas, ya que su definición estructural se asemeja a la usada en el proyecto.

2.2.1. ESLORA DE ESCANTILLONADO

La eslora de escantillado, queda definida en el capítulo 1, sección 2, regla 3.1 del Bureau



Veritas, y más concretamente en la regla 3.1.2, donde se concreta la dimensión de la eslora de escantillonado para buques sin timón a popa, como por ejemplo propulsores acimutales, que es el caso que nos ocupa de la siguiente manera:

“In ships without rudder stock (e.g. ships fitted with azimuth thrusters), the rule length L is to be taken equal to 97% of the extreme length on the summer load waterline.”

Es decir se tomará como $0,97 \cdot L_{7,2m} = 0,97 \cdot 84,77 = 82,23$ m.

2.2.2. MANGA DE ESCANTILLONADO

La manga se tomará como la manga máxima bajo la cubierta superior, es decir 18,15 metros.

2.2.3. CALADO DE ESCANTILLONADO

El calado de escantillonado se toma como el calado de francobordo de verano, que es 7,2 metros.

2.2.4. PUNTAL DE TRAZADO

El puntal de trazado se toma como la distancia vertical, medida desde la línea de base hasta la cara superior de la cubierta estanca más alta (cubierta superior en este caso), luego 9,1 metros.

2.2.5. COEFICIENTE DE BLOQUE

El coeficiente de bloque para los datos anteriores es:

$$C_B = \frac{\Delta}{L_e \cdot B \cdot T} = \frac{7020}{82,23 \cdot 18,15 \cdot 7,2} = 0,653$$

2.2.6. POSICIÓN DE LA CUADERNA MAESTRA

La posición de la cuaderna maestra, respecto de la perpendicular de popa es $X_{CM} = 40,8$ metros, la cuaderna número 68, por ser esta la más cercana al punto medio de la eslora de



escantillonado previamente calculada.

2.3. MATERIALES

Se va a construir el casco y superestructuras en acero.

Los aceros típicos empleados en la construcción naval se definen en el reglamento del Bureau Veritas, parte B, capítulo 4, sección 1.

Steel grades $t \leq 100$ mm	Minimum yield stress R_{eH} , in N/mm^2	Ultimate minimum tensile strength R_m , in N/mm^2
A-B-D-E	235	400 - 520
AH32-DH32-EH32 FH32	315	440 - 590
AH36-DH36-EH36 FH36	355	490 - 620
AH40-DH40-EH40 FH40	390	510 - 650
Note 1: Ref.: NR216 Materials and Welding, Ch 2, Sec 1, [2]		

Figura 1. Tipos de acero

Siendo el factor k del material, función de R_{eH} de acuerdo a la tabla siguiente:

R_{eH} , in N/mm^2	k
235	1
315	0,78
355	0,72
390	0,68

Figura 2. Características aceros

Finalmente, se especifican las clases o grados del material a usar en función del tipo de pieza estructural y su posición, dividiéndose entre la zona correspondiente a la cuaderna maestra con extensión $0,4 \cdot L$, y el resto.



Structural member category	Material class or grade	
	Within 0,4L amidships	Outside 0,4L amidships
SECONDARY: <ul style="list-style-type: none">Longitudinal bulkhead strakes, other than that belonging to the primary categoryDeck plating exposed to weather, other than that belonging to the primary or special categorySide plating	I	A / AH
PRIMARY: <ul style="list-style-type: none">Bottom plating, including keel plateStrength deck plating, excluding that belonging to the special categoryContinuous longitudinal members above strength deck, excluding hatch coamings, for ships equal to or greater than 90 m in lengthUppermost strake in longitudinal bulkheadVertical strake (hatch side girder) and uppermost sloped strake in top wing tank	II	A / AH
SPECIAL: <ul style="list-style-type: none">Sheer strake at strength deck (1) (2) (9)Stringer plate in strength deck (1) (9)Deck strake at longitudinal bulkhead (3) (9)Strength deck plating at outboard corners of cargo hatch openings in container carriers and other ships with similar hatch openings configuration (4)Strength deck plating at corners of cargo hatch openings in bulk carriers, ore carriers, combination carriers and other ships with similar hatch openings configuration (5)Bilge strake (6) (7) (9)Longitudinal hatch coamings of length greater than 0,15 L, for ships equal to or greater than 90 m in length (8)End brackets and deck house transition of longitudinal cargo hatch coamings (8)	III	II (I outside 0,6L amidships)

Figura 3. Clases o grados

Y conociendo la clase, una vez se calcule el espesor podrá decidirse qué tipo de acero se utilizará:

Class	I		II		III	
Gross thickness, in mm	NSS	HSS	NSS	HSS	NSS	HSS
$t \leq 15$	A	AH	A	AH	A	AH
$15 < t \leq 20$	A	AH	A	AH	B	AH
$20 < t \leq 25$	A	AH	B	AH	D	DH
$25 < t \leq 30$	A	AH	D	DH	D	DH
$30 < t \leq 35$	B	AH	D	DH	E	EH
$35 < t \leq 40$	B	AH	D	DH	E	EH
$40 < t \leq 50$	D	DH	E	EH	E	EH
Note 1: "NSS" and "HSS" mean, respectively: "Normal Strength Steel" and "Higher Strength Steel".						

Figura 4. Tipo de acero según clase

Dado que este buque no se va a ver sometido a cargas de gran magnitud, se va a tomar acero dulce de calidad naval tipo A.

2.4. SISTEMA DE REFERENCIA

El sistema de referencia o convenio de signos adoptado por el Bureau Veritas queda definido en la parte B, capítulo 1, sección 2, regla 4 de su reglamento, resumido en la imagen siguiente perteneciente a dicho punto:

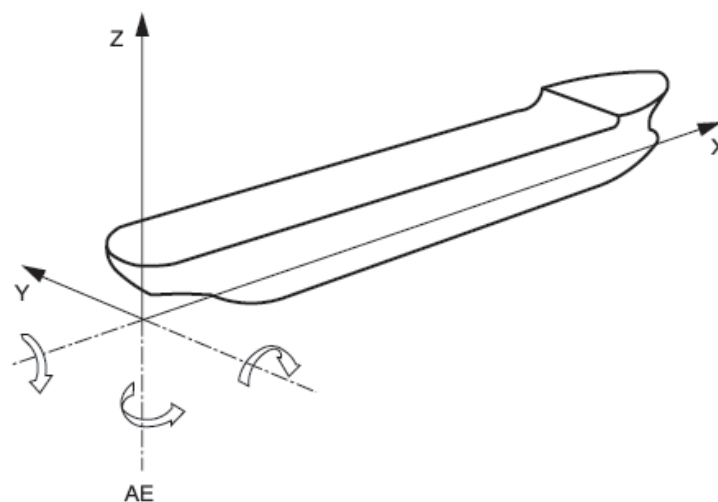


Figura 5. Sistema de referencia, movimiento

Adicionalmente, el convenio de signos para los esfuerzos cortantes y momentos flectores es el siguiente:

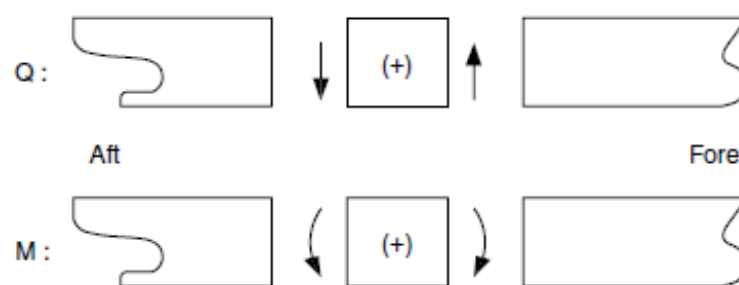


Figura 6. Sistema de referencia, esfuerzos y momentos



3. RESISTENCIA GENERAL

Los cálculos principales se realizarán sobre la cuaderna maestra, por ser esta la representativa del buque, donde normalmente ocurren los mayores momentos, y por tanto será la que deba ser estudiada para evitar daños por este hecho, si bien se presentarán al final del cuaderno también secciones de proa y popa representativas.

3.1. PARÁMETRO DE OLA

Se define el parámetro de ola en función de la eslora del buque como especifica la siguiente tabla del reglamento:

C : Wave parameter:

$$C = (118 - 0,36L) \frac{L}{1000} \text{ for } 65\text{m} \leq L < 90\text{m}$$

$$C = 10,75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^{1,5} \text{ for } 90\text{m} \leq L < 300\text{m}$$

$$C = 10,75 \text{ for } 300\text{m} \leq L \leq 350\text{m}$$

$$C = 10,75 - \left(\frac{L-350}{150}\right)^{1,5} \text{ for } L > 350\text{m}$$

Luego en nuestro caso:

$$C = (118 - 0,36 \cdot 82,23) \cdot \frac{82,23}{1000} = 7,27$$

3.2. FACTOR DE NAVEGACIÓN

De acuerdo a lo expuesto en el Bureau Veritas, parte B, capítulo 5, sección 1, regla 2.6, el factor de navegación, n, se elegirá de la siguiente tabla, según el tipo de navegación de nuestro buque:

Navigation notation	Navigation coefficient n	Navigation coefficient n ₁
Unrestricted navigation	1,00	1,00
Summer zone	0,90	0,95
Tropical zone	0,80	0,90
Coastal area	0,80	0,90
Sheltered area	0,65	0,80

Figura 7. Factor de navegación



En el caso que nos ocupa, realizará navegación sin restricciones, y tomaremos $n = n_1 = 1$

3.3. MOMENTOS FLECTORES POR OLAS

Los momentos de arrufo y quebranto, para cualquier sección del buque vienen definidos en el reglamento Bureau Veritas, parte B, capítulo 5, sección 2, regla 3.

Se tomará el valor F_M como unitario para el cálculo de los momentos en la sección maestra (entre $0,4 \cdot L$ y $0,65 \cdot L$)

La distribución de estos momentos a lo largo de la eslora, de acuerdo a lo estipulado en dicha regla se realizaría de la siguiente manera:

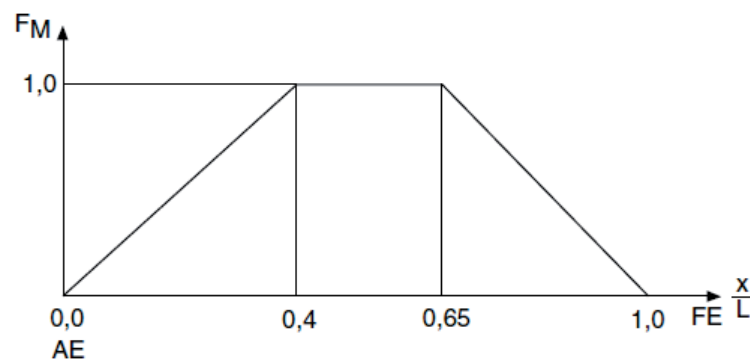


Figura 8. Distribución de F_m

Estando definidas las ecuaciones de las rectas en la función como:

Hull transverse section location	Distribution factor F_M
$0 \leq x < 0,4 L$	$2,5 \frac{x}{L}$
$0,4 L \leq x \leq 0,65 L$	1
$0,65 L < x \leq L$	$2,86 \left(1 - \frac{x}{L}\right)$

3.3.1. MOMENTO DE ARRUFOS (SAGGING)

El momento de arrufo se calcula como:



$$M_{WV,S} = -110 \cdot F_M \cdot n \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7) \cdot 10^{-3}$$

$$M_{WV,S} = -110 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 7,27 \cdot 82,23^2 \cdot 18,15 \cdot (0,653 + 0,7) \cdot 10^{-3} = -132.768,9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

3.3.2. MOMENTO DE QUEBRANTO (HOGGING)

El momento de quebranto se calcula como:

$$M_{WV,H} = 190 \cdot F_M \cdot n \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot C_B \cdot 10^{-3}$$

$$M_{WV,H} = 190 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 7,27 \cdot 82,23^2 \cdot 18,15 \cdot 0,653 \cdot 10^{-3} = 110.680,9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

El resumen de los momentos de arrufo y quebranto a lo largo de toda la eslora se resumen en la siguiente tabla y gráfico:

Momentos flectores			
x/L	FM	M _{wv,s}	M _{wv,h}
0	0	0	0
0.05	0.13	-16596.12	13835.12
0.1	0.25	-33192.24	27670.23
0.15	0.38	-49788.35	41505.35
0.2	0.50	-66384.47	55340.46
0.25	0.63	-82980.59	69175.58
0.3	0.75	-99576.71	83010.70
0.35	0.88	-116172.82	96845.81
0.4	1.00	-132768.94	110680.93
0.45	1.00	-132768.94	110680.93
0.5	1.00	-132768.94	110680.93
0.55	1.00	-132768.94	110680.93
0.6	1.00	-132768.94	110680.93
0.65	1.00	-132768.94	110680.93
0.7	0.86	-113915.75	94964.24
0.75	0.72	-94929.79	79136.86
0.8	0.57	-75943.83	63309.49
0.85	0.43	-56957.88	47482.12
0.9	0.29	-37971.92	31654.75
0.95	0.14	-18985.96	15827.37
1	0	0	0

Tabla 1. Momentos flectores

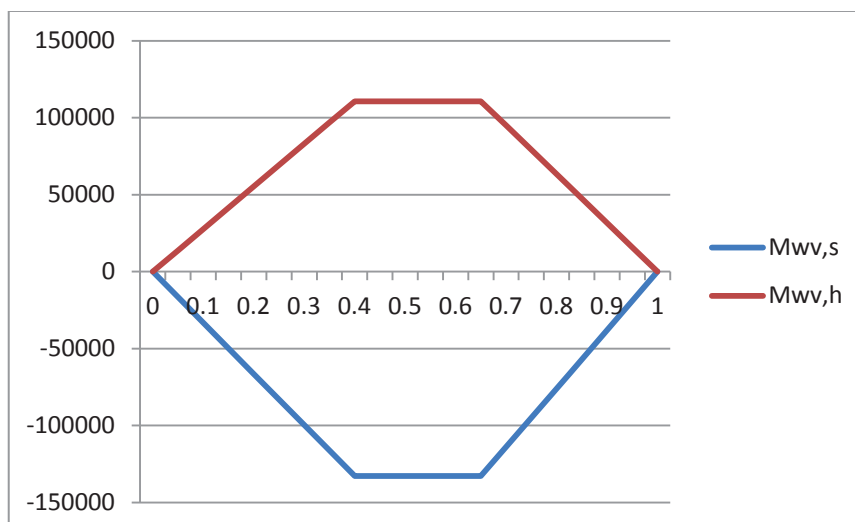


Figura 9. Distribución de momentos flectores

3.4. ESFUERZOS CORTANTES POR OLAS

Los esfuerzos cortantes se distribuyen de forma diferente a lo largo de la eslora según sean esfuerzos positivos o negativos, tal y como muestra la figura siguiente:

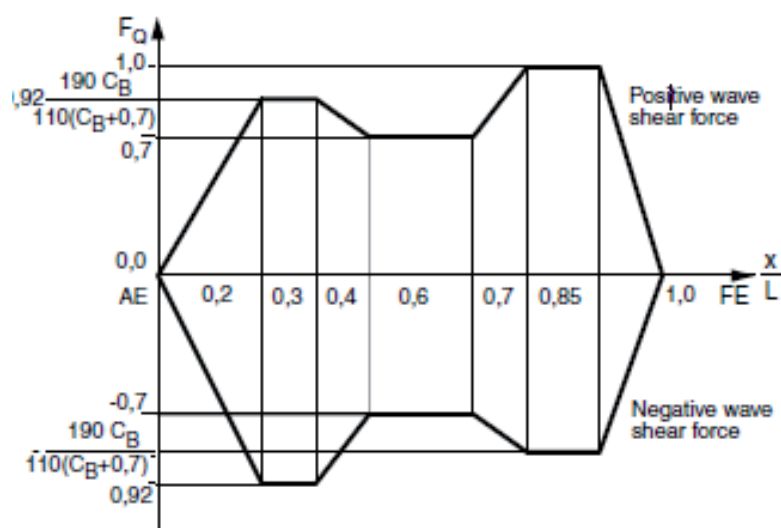


Figura 10. Distribución de F_q

Sin embargo, la expresión que los define a todos es la misma, y es la siguiente:



$$Q_{WV} = 30 \cdot F_Q \cdot n \cdot C \cdot L \cdot B \cdot (C_B + 0,7) \cdot 10^{-2}$$

La distribución del factor F_Q , viene dada en la siguiente tabla, según sean esfuerzos negativos o positivos:

Hull transverse section location	Distribution factor F_Q	
	Positive wave shear force	Negative wave shear force
$0 \leq x < 0,2 L$	$4,6A \frac{x}{L}$	$-4,6 \frac{x}{L}$
$0,2 L \leq x \leq 0,3 L$	$0,92 A$	$-0,92$
$0,3 L < x < 0,4 L$	$(9,2A - 7) \left(0,4 - \frac{x}{L}\right) + 0,7$	$-2,2 \left(0,4 - \frac{x}{L}\right) - 0,7$
$0,4 L \leq x \leq 0,6 L$	$0,7$	$-0,7$
$0,6 L < x < 0,7 L$	$3 \left(\frac{x}{L} - 0,6\right) + 0,7$	$-(10A - 7) \left(\frac{x}{L} - 0,6\right) - 0,7$
$0,7 L \leq x \leq 0,85 L$	1	$-A$
$0,85 L < x \leq L$	$6,67 \left(1 - \frac{x}{L}\right)$	$-6,67A \left(1 - \frac{x}{L}\right)$
Note 1: $A = \frac{190C_B}{110(C_B + 0,7)}$		

3.4.1. ESFUERZOS POSITIVOS

El valor en la cuaderna maestra será:

$$Q_{WV,P} = 30 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 7,27 \cdot 82,23 \cdot 18,15 \cdot (0,653 + 0,7) \cdot 10^{-2}$$

$$Q_{WV,P} = 3082,43 \text{ kN}$$

3.4.2. ESFUERZOS NEGATIVOS

El valor en la cuaderna maestra será:

$$Q_{WV,N} = 30 \cdot (-0,7) \cdot 1 \cdot 7,27 \cdot 82,23 \cdot 18,15 \cdot (0,653 + 0,7) \cdot 10^{-2}$$

$$Q_{WV,N} = -3082,43 \text{ kN}$$



Y a lo largo de toda la eslora resultan los valores que se resumen en la tabla y gráfica siguientes:

Esfuerzos cortantes				
x/L	FQ P	FQ N	Qp	Qn
0	0	0	0	0
0.05	0.19	-0.23	844.30	-1012.80
0.1	0.38	-0.46	1688.61	-2025.59
0.15	0.58	-0.69	2532.91	-3038.39
0.2	0.77	-0.92	3377.22	-4051.19
0.25	0.77	-0.92	3377.22	-4051.19
0.3	0.77	-0.92	3377.22	-4051.19
0.35	0.73	-0.81	3229.82	-3566.81
0.4	0.70	-0.7	3082.43	-3082.43
0.45	0.70	-0.7	3082.43	-3082.43
0.5	0.70	-0.7	3082.43	-3082.43
0.55	0.70	-0.7	3082.43	-3082.43
0.6	0.70	-0.7	3082.43	-3082.43
0.65	0.85	-0.77	3742.95	-3376.66
0.7	1.00	-0.83	4403.47	-3670.89
0.75	1.00	-0.83	4403.47	-3670.89
0.8	1.00	-0.83	4403.47	-3670.89
0.85	1.00	-0.83	4403.47	-3670.89
0.9	0.67	-0.56	2937.11	-2448.48
0.95	0.33	-0.28	1468.56	-1224.24
1	0.00	0.00	0	0

Tabla 2. Esfuerzos cortantes

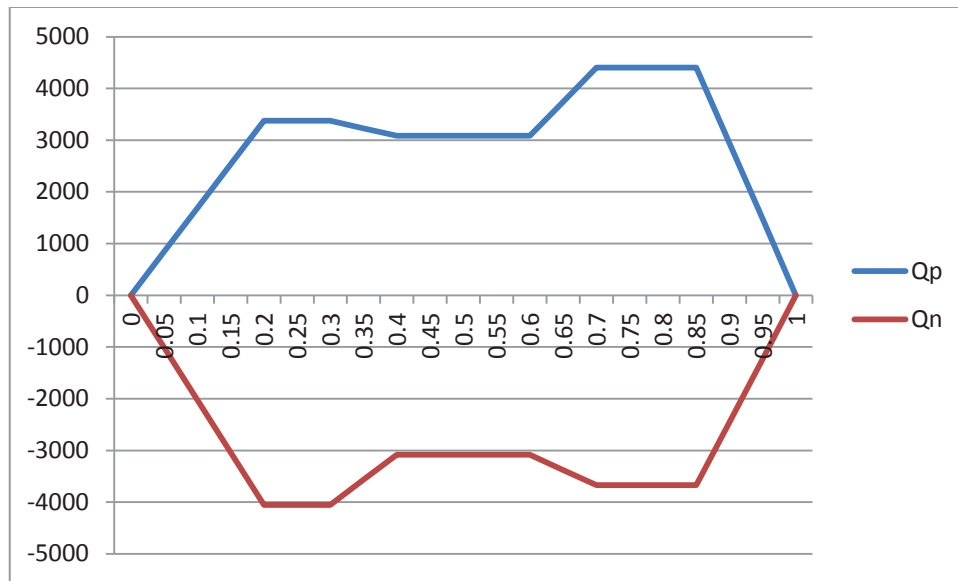


Figura 11. Distribución de esfuerzos cortantes

3.5. MÓDULO MÍNIMO DE LA SECCIÓN MAESTRA

De acuerdo al reglamento de Bureau Veritas, parte B, capítulo 6, sección 2, regla 4, el módulo mínimo permisible para la sección maestra y la zona considerada de $0,4 \cdot L$, es en buques con coeficiente de bloque inferior a 0,8; el mayor de los siguientes, en m^3 :

$$Z_{R,min} = n_1 \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7) \cdot k \cdot 10^{-6}$$

$$Z_R = \frac{M_{SW} + M_{WV}}{\sigma_{1,ALL}}$$

De la primera de las dos expresiones ya tenemos todos los datos necesarios, con que se procede al cálculo:

$$Z_{R,min} = 1 \cdot (118 - 0,36 \cdot 82,23) \cdot \frac{82,23}{1000} \cdot 82,23^2 \cdot 18,15 \cdot (0,653 + 0,7) \cdot 1 \cdot 10^{-6}$$

$$Z_{R,min} = 1,21 m^3$$



Para la segunda expresión primero necesitamos definir las variables que intervienen:

a) M_{SW}

El momento flector en aguas tranquilas se define en el reglamento BV, parte B, capítulo 5, sección 2, regla 2.2 como el mayor de los dos siguientes valores calculados en la cuaderna:

$$M_{SWM,S} = 175 \cdot n_1 \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7) \cdot 10^{-3} + M_{WV,S}$$

$$M_{SWM,S} = 175 \cdot 1 \cdot 7,27 \cdot 82,23^2 \cdot 18,15 \cdot (0,653 + 0,7) \cdot 10^{-3} + (-132.768,9)$$

$$M_{SWM,S} = 78.454,4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{SWM,H} = 175 \cdot n_1 \cdot C \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7) \cdot 10^{-3} - M_{WV,H}$$

$$M_{SWM,H} = 175 \cdot 1 \cdot 7,27 \cdot 82,23^2 \cdot 18,15 \cdot (0,653 + 0,7) \cdot 10^{-3} - M_{WV,S}$$

$$M_{SWM,H} = 100.542,4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Se toma por tanto como valor de momento flector en aguas tranquilas:

$$M_{SW} = 100.542,4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

b) M_{WV}

Se toma como el mayor de los valores de momentos flectores calculados para arrufo y quebranto, en valor absoluto:

M_{wv,s}	-132.768,9
M_{wv,h}	110.680,9

Tabla 3. Momentos flectores máximos

Es decir se toma:

$$M_{WV} = 132.768,94 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



c) $\sigma_{1,ALL}$

Este valor es en N/mm^2 el valor de tensión máxima permitida, según la posición longitudinal, que en este caso será para la cuaderna maestra.

$$\begin{aligned}\sigma_{1,ALL} &= \frac{119}{k} && \text{for } \frac{x}{L} \leq 0,1 \\ \sigma_{1,ALL} &= \frac{175}{k} - \frac{1400}{k} \left(\frac{x}{L} - 0,3 \right)^2 && \text{for } 0,1 < \frac{x}{L} < 0,3 \\ \sigma_{1,ALL} &= \frac{175}{k} && \text{for } 0,3 \leq \frac{x}{L} \leq 0,7 \\ \sigma_{1,ALL} &= \frac{175}{k} - \frac{1400}{k} \left(\frac{x}{L} - 0,7 \right)^2 && \text{for } 0,7 < \frac{x}{L} < 0,9 \\ \sigma_{1,ALL} &= \frac{119}{k} && \text{for } \frac{x}{L} \geq 0,9\end{aligned}$$

Ergo:

$$\sigma_{1,ALL} = \frac{175}{k} = \frac{175}{1} = 175 \frac{N}{mm^2} = 175.000 \frac{kN}{m^2}$$

Disponemos pues, de los valores necesarios para calcular el valor Z_R :

$$Z_R = \frac{M_{SW} + M_{WV}}{\sigma_{1,ALL}} = \frac{100.542,4 + 132.768,9}{175.000} = 1,333 m^3$$

Tomaremos por tanto como valor mínimo permisible del módulo de la sección maestra se tomará:

$$Z = 1,333 m^3$$

3.6. MOMENTO DE INERCIA DE LA SECCIÓN MAESTRA

El momento de inercia mínimo en m^4 respecto del eje horizontal neutro, y de acuerdo a la misma normativa del apartado anterior será:

$$I_{YR} = 3 \cdot Z'_{R,min} \cdot L \cdot 10^{-2}$$



Siendo $Z'_{R,min}$ el resultado de la ecuación expuesta en el apartado anterior pero asumiendo el valor $k = 1$, que en este caso resulta el valor ya calculado pues para el acero elegido $k = 1$, entonces:

$$I_{YR} = 3 \cdot 1,21 \cdot 82,23 \cdot 10^{-2} = 2,98 \text{ m}^4$$



4. RESISTENCIA LOCAL

El buque se divide en tres secciones de acuerdo al reglamento:

- Zona central, que abarca el 40% de la eslora
- Zona de proa, desde el extremo de proa de la zona central hasta la proa del buque
- Zona de popa, desde el extremo de popa de la zona central hasta la popa del buque

Es importante remarcar, que para el escantillonado de los refuerzos va a considerarse el módulo mínimo del conjunto refuerzo más plancha asociada, entonces el ancho de dicha plancha asociada no será mayor que la separación entre los refuerzos que se estén escantillonando.

Los espesores netos mínimos de las diferentes planchas del buque se definen en la parte B, capítulo 7, sección 1 del Bureau Veritas.

Sin embargo en algunos casos puede que las presiones a las que se ven sometidas las piezas estructurales a definir pueden obligar a elegir una dimensión mayor que soporte dichas presiones externas, por ello lo primero que va a realizarse es un cálculo de las mismas, tras lo cual se estimará la presión mínima necesaria y la reglamentaria para elegir la más adecuada en cada caso.

Hay dos presiones que se van a tener en cuenta, las presiones debidas al mar y las debidas a cargas líquidas, principalmente combustible.

4.1. PRESIÓN DEL MAR

Se definirán dos situaciones diferentes, la presión en agua tranquilas (P_s) y la presión en olas (P_w).

4.1.1. PRESIÓN EN AGUAS TRANQUILAS

De acuerdo a lo estipulado en el reglamento Bureau Veritas, parte B, capítulo 5, sección 5, la presión en aguas tranquilas se divide en los siguientes puntos:

- a) Presión en fondo y costados

La expresión que rige esta presión es:

$$P_s = \rho \cdot g \cdot (T_1 - Z)$$

Siendo ρ la densidad del agua marina, g la aceleración de la gravedad, T_1 el calado definido y Z

la altura considerada.

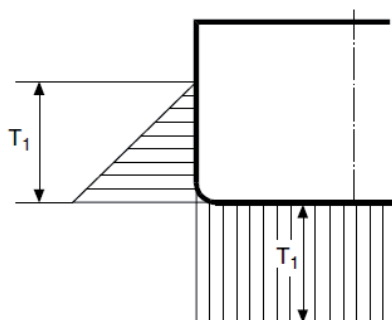


Figura 12. Presión de mar

Como se puede observar, la distribución de presiones no es igual, si no que depende de la sección a estudiar, y se dividirá por tanto en tres secciones:

- Fondo ($Z=0$)

La presión es constante a lo largo de toda la manga plancha de fondo, y será:

$$P_S = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (7,2 - 0) = 72,4 \frac{kN}{m^2}$$

- Costado bajo flotación ($Z=T_1/2$)

Se toma un valor medio en el costado bajo la flotación, como $Z = 3,6$ metros.

$$P_S = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (7,2 - 3,6) = 36,2 \frac{kN}{m^2}$$

- Costado sobre flotación ($Z>T_1$)

Para cualquier valor sobre la flotación se considera esta presión como nula, es decir:

$$P_S = 0$$

- b) Presión en cubiertas expuestas

La fórmula que rige esta presión mínima es:

$$P_S = 10 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2$$

Donde el valor de φ_1 viene dado por el reglamento en función de la superestructura a



estudiar, que en este caso será la de francobordo, siendo esta la cubierta superior expuesta.

Dicho valor $\varphi_1 = 1$

Para calcular φ_2 , dependerá de la eslora del buque, como en este caso es menor de 120 metros:

$$\varphi_2 = \frac{L}{120} = \frac{82,23}{120} = 0,69$$

Luego:

$$P_s = 10 \cdot 1 \cdot 0,69 = 6,9 \frac{kN}{m^2}$$

Se resumen a continuación, todas las presiones obtenidas para los diferentes casos, estando los valores en $\frac{kN}{m^2}$:

Presión en aguas tranquilas		
Zona	Z	Ps
Fondo	0	72,40
Costado Z<T1	3,6	36,20
Costado Z>T1	7,2	0,00

Tabla 4. Presión del mar en aguas tranquilas

4.1.2. PRESIÓN EN OLAS

Para el estudio de la presión en olas, el reglamento BV, parte B, capítulo 5, sección 4, regla 2, diferencia cuatro casos posibles:

a) Caso A

Se considera que el barco encuentra una ola que produce un movimiento relativo de la línea de flotación (tanto negativo como positivo) simétrico respecto de crujía e induce un momento flector vertical y esfuerzos cortantes en el buque viga.

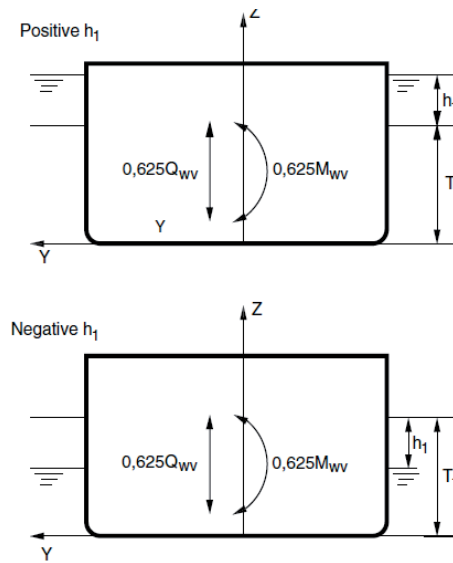


Figura 13. Caso A

Las zonas a considerar son las mismas que para aguas tranquilas, pero en este caso además se tendrán en cuenta según sea la cresta o el seno de la ola:

- Fondo

Se definirá primero el valor de h , movimiento relativo vertical del buque, que para la sección maestra, en la parte B, capítulo 5, sección 3, regla 3.3 se define como:

$$h_1 = 0,42 \cdot n \cdot C \cdot (C_B + 0,7) = 0,42 \cdot 1 \cdot 7,27 \cdot (0,653 + 0,7) = 4,13 \text{ m}$$

Siempre y cuando sea menor que el límite establecido por:

$$h_{1min} = D - 0,9 \cdot T_1 = 9,1 - 0,9 \cdot 7,2 = 2,62 \text{ m}$$

Luego se tomará este valor como $h_1 = 2,62 \text{ m}$ y así podrá calcularse el valor de h donde

$h = C_{F1} \cdot h_1$, siendo C_{F1} el factor de combinación, que será 1 para el caso A, luego $h = 2,62 \text{ m}$.

○ Cresta

El valor de la presión viene dado por:

$$P_W = \rho \cdot g \cdot h \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 2,62 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (7,2 - 0)}{82,23}} = 15,2 \frac{kN}{m^2}$$



- Seno

En el seno la expresión será:

$$P_W = -\rho \cdot g \cdot h \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} = -1,025 \cdot 9,81 \cdot 2,62 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (7,2 - 0)}{82,23}} = -15,2 \frac{kN}{m^2}$$

Este valor nunca será menor que:

$$P_W = \rho \cdot g \cdot (Z - T_1) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (0 - 7,2) = -72,4 \frac{kN}{m^2}$$

Luego el valor calculado cumple esta condición.

- Costado bajo flotación

Las presiones se calculan con las mismas expresiones que en el fondo pero a una altura $Z = 3,6$ m.

- Cresta

$$P_W = \rho \cdot g \cdot h \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 2,62 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (7,2 - 3,6)}{82,23}} = 20,01 \frac{kN}{m^2}$$

- Seno

$$P_W = -\rho \cdot g \cdot h \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} = -1,025 \cdot 9,81 \cdot 2,62 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (7,2 - 3,6)}{82,23}} = -20,01 \frac{kN}{m^2}$$

- Costado sobre flotación

- Cresta

La expresión que rige esta presión es:

$$P_W = \rho \cdot g \cdot (T_1 + h - Z) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (7,2 + 2,62 - 7,2) = 26,34 \frac{kN}{m^2}$$

Siempre y cuando no sea menor que $0,15 \cdot L = 0,15 \cdot 82,23 = 15,33 \text{ kN/m}^2$, luego el valor calculado es algo superior y por tanto válido.

- Seno

En el caso de seno la presión por olas es nula en el costado sobre la línea de flotación:

$$P_W = 0$$

- Cubierta expuesta
 - Cresta

Para una posición de 0 a $0,5 \cdot L$, se define la presión de olas sobre cubierta como:

$$P_W = 17,5 \cdot n \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 = 17,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,69 = 12,08 \frac{kN}{m^2}$$

- Seno

Será, para todos los casos, cero.

$$P_W = 0$$

- Pantoque

$$P_W = \rho \cdot g \cdot h \cdot e^{\frac{2 \cdot \pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 2,62 \cdot e^{\frac{2 \cdot \pi \cdot (7,2 - 0,8)}{82,23}} = 21,87 \frac{kN}{m^2}$$

b) Caso B

Este caso es similar al caso A, pero en esta ocasión además se considera un movimiento inducido de alza y cabeceo.

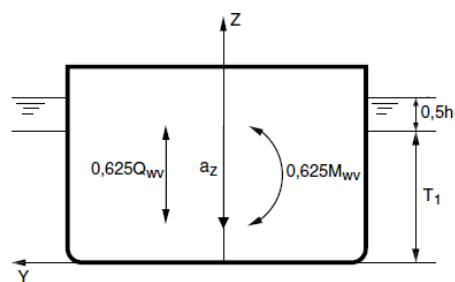


Figura 14. Caso B

Los cálculos se realizan igual que para el caso A, pero en esta situación, el factor $C_{F1} = 0,5$, se obtienen los siguientes resultados:

- Fondo



- Cresta

$$P_W = \rho \cdot g \cdot h \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 2,62 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (7,2 - 0)}{82,23}} = 7,6 \frac{kN}{m^2}$$

- Seno

$$P_W = -\rho \cdot g \cdot h \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} = -1,025 \cdot 9,81 \cdot 2,62 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (7,2 - 0)}{82,23}} = -7,6 \frac{kN}{m^2}$$

- Costado bajo flotación

- Cresta

$$P_W = \rho \cdot g \cdot h \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 2,62 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (7,2 - 3,6)}{82,23}} = 10 \frac{kN}{m^2}$$

- Seno

$$P_W = -\rho \cdot g \cdot h \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} = -1,025 \cdot 9,81 \cdot 2,62 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (7,2 - 3,6)}{82,23}} = -10 \frac{kN}{m^2}$$

- Costado sobre flotación

- Cresta

$$P_W = \rho \cdot g \cdot (T_1 + h - Z) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (7,2 + 2,62 - 7,2) = 13,17 \frac{kN}{m^2}$$

- Seno

$$P_W = 0$$

- Cubierta expuesta

- Cresta

$$P_W = 17,5 \cdot n \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 = 17,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,69 = 12,08 \frac{kN}{m^2}$$

- Seno

$$P_W = 0$$

- Pantoque

$$P_W = \rho \cdot g \cdot h \cdot e^{\frac{2 \cdot \pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 2,62 \cdot e^{\frac{2 \cdot \pi \cdot (7,2 - 0,8)}{82,23}} = 8,08 \frac{kN}{m^2}$$

c) Caso C

Se considera que el barco encuentra una ola que produce movimientos de deriva, guiñada y balanceo, además de inducir un momento flector vertical y horizontal, esfuerzos cortantes en el buque viga, así como momento torsor.

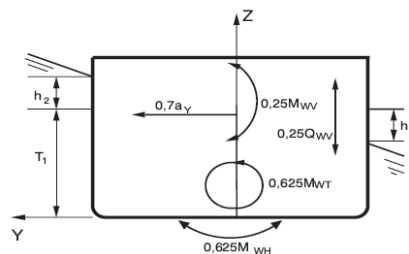


Figura 15. Caso C

- Fondo

Se definirá primero el valor de A_R , amplitud de balance, que para la sección maestra, en la parte B, capítulo 5, sección 3, regla 2.5.1 se define como:

$$A_R = a_B \cdot \sqrt{E}$$

Los parámetros necesarios para este cálculo se detallan a continuación:

Parámetro de olas h_w para buques de eslora inferior a 350 metros:

$$h_w = 11,44 - \left| \frac{L - 250}{110} \right|^3 = 11,44 - \left| \frac{82,23 - 250}{110} \right|^3 = 7,89 \text{ m}$$

Parámetro de aceleración y movimiento:

$$a_B = n \cdot \left(0,76 \cdot F_n + 1,875 \cdot \frac{h_w}{L} \right) = 1 \cdot \left(0,76 \cdot 0,2 + 1,875 \cdot \frac{7,89}{82,23} \right) = 0,33$$

Se asume $GM = 0,07 \cdot B = 0,07 \cdot 18,15 = 1,27$ metros y el radio de balance δ como $0,35 \cdot B = 0,35 \cdot 18,15 = 6,35$ metros.



$$E = 1,39 \cdot \frac{GM}{\delta^2} \cdot B = 1,39 \cdot \frac{1,27}{6,35^2} \cdot 18,15 = 0,79$$

Podemos entonces calcular:

$$A_R = a_B \cdot \sqrt{E} = 0,33 \cdot \sqrt{5,05} = 0,3$$

El valor de la presión viene dado por:

$$P_W = C_{F2} \cdot \rho \cdot g \cdot \left[\frac{y}{B_W} \cdot h_1 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} + A_R \cdot y \cdot e^{-\frac{\pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} \right]$$

Se considerará la distancia y como tres cuartos de la semimanga, que son 6,8 metros.

$$P_W = 1 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot \left[\frac{6,8}{18,15} \cdot 2,62 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (7,2 - 0)}{82,23}} + 0,3 \cdot 6,8 \cdot e^{-\frac{\pi \cdot (7,2 - 0)}{82,23}} \right] = 21,03 \frac{kN}{m^2}$$

- Costado bajo flotación

Las presiones se calculan con las mismas expresiones que en el fondo pero a una altura $Z = 3,6$ m.

$$P_W = C_{F2} \cdot \rho \cdot g \cdot \left[\frac{y}{B_W} \cdot h_1 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} + A_R \cdot y \cdot e^{-\frac{\pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} \right]$$

$$P_W = 1 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot \left[\frac{6,8}{18,15} \cdot 2,62 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (7,2 - 3,6)}{82,23}} + 0,3 \cdot 6,8 \cdot e^{-\frac{\pi \cdot (7,2 - 3,6)}{82,23}} \right] = 25,09 \frac{kN}{m^2}$$

- Costado sobre flotación

La expresión que rige esta presión es:

$$P_W = \rho \cdot g \cdot \left(T_1 + C_{F2} \cdot \left(\frac{y}{B_W} \cdot h_1 + A_R \cdot y \right) - Z \right)$$

$$P_W = 1,025 \cdot 9,81 \cdot \left(7,2 + 1 \cdot \left(\frac{6,8}{18,15} \cdot 2,62 + 0,3 \cdot 6,8 \right) - 3,6 \right) = 30,06 \frac{kN}{m^2}$$

- Cubierta expuesta

Finalmente, la presión sobre la cubierta expuesta se calcula como:

$$P_W = 0,4 \cdot \rho \cdot g \cdot \left(T_1 + C_{F2} \cdot \left(\frac{y}{B_W} \cdot h_1 + A_R \cdot y \right) - Z \right)$$

$$P_W = 0,4 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot \left(7,2 + 1 \cdot \left(\frac{6,8}{18,15} \cdot 2,62 + 0,3 \cdot 6,8 \right) - 9,1 \right) = 4,38 \frac{kN}{m^2}$$

Teniendo que ser mayor a:

$$P_W = 0,15 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot L = 0,15 \cdot 1 \cdot 0,69 \cdot 82,23 = 8,51 \frac{kN}{m^2}$$

Condición que no cumple el valor calculado previamente, con lo que tomaremos entonces el valor mínimo calculado:

$$P_W = 8,51 \frac{kN}{m^2}$$

- Pantoque

$$P_W = C_{F2} \cdot \rho \cdot g \cdot \left[\frac{y}{B_W} \cdot h_1 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} + A_R \cdot y \cdot e^{-\frac{\pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} \right]$$

$$P_W = 1 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot \left[\frac{6,8}{18,15} \cdot 2,62 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (7,2 - 0,8)}{82,23}} + 0,3 \cdot 6,8 \cdot e^{-\frac{\pi \cdot (7,2 - 0,8)}{82,23}} \right] = 21,87 \frac{kN}{m^2}$$

d) Caso D

Este caso es similar al caso C, pero sin el momento torsor inducido.

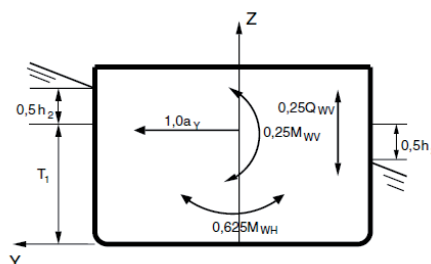


Figura 16. Caso D



Los cálculos se realizan igual que para el caso C, pero en esta situación, el factor $C_{F2} = 0,5$, se obtienen los siguientes resultados:

- Fondo

$$P_W = C_{F2} \cdot \rho \cdot g \cdot \left[\frac{y}{B_W} \cdot h_1 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} + A_R \cdot y \cdot e^{-\frac{\pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} \right]$$

$$P_W = 1 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot \left[\frac{6,8}{18,15} \cdot 2,62 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (7,2 - 0)}{82,23}} + 0,3 \cdot 6,8 \cdot e^{-\frac{\pi \cdot (7,2 - 0)}{82,23}} \right] = 10,52 \frac{kN}{m^2}$$

- Costado bajo flotación

$$P_W = C_{F2} \cdot \rho \cdot g \cdot \left[\frac{y}{B_W} \cdot h_1 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} + A_R \cdot y \cdot e^{-\frac{\pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} \right]$$

$$P_W = 1 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot \left[\frac{6,8}{18,15} \cdot 2,62 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (7,2 - 3,6)}{82,23}} + 0,3 \cdot 6,8 \cdot e^{-\frac{\pi \cdot (7,2 - 3,6)}{82,23}} \right] = 12,55 \frac{kN}{m^2}$$

- Costado sobre flotación

$$P_W = \rho \cdot g \cdot \left(T_1 + C_{F2} \cdot \left(\frac{y}{B_W} \cdot h_1 + A_R \cdot y \right) - Z \right)$$

$$P_W = 1,025 \cdot 9,81 \cdot \left(7,2 + 1 \cdot \left(\frac{6,8}{18,15} \cdot 2,62 + 0,3 \cdot 6,8 \right) - 3,6 \right) = 15,03 \frac{kN}{m^2}$$

- Cubierta expuesta

$$P_W = 0,4 \cdot \rho \cdot g \cdot \left(T_1 + C_{F2} \cdot \left(\frac{y}{B_W} \cdot h_1 + A_R \cdot y \right) - Z \right)$$

$$P_W = 0,4 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot \left(7,2 + 1 \cdot \left(\frac{6,8}{18,15} \cdot 2,62 + 0,3 \cdot 6,8 \right) - 9,1 \right) = -1,63 \frac{kN}{m^2}$$

- Pantoque

$$P_W = C_{F2} \cdot \rho \cdot g \cdot \left[\frac{y}{B_W} \cdot h_1 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} + A_R \cdot y \cdot e^{-\frac{\pi \cdot (T_1 - Z)}{L}} \right]$$



$$P_W = 1 \cdot 1,025 \cdot 9,81 \cdot \left[\frac{6,8}{18,15} \cdot 2,62 \cdot e^{-\frac{2 \cdot \pi \cdot (7,2-0,8)}{82,23}} + 0,3 \cdot 6,8 \cdot e^{-\frac{\pi \cdot (7,2-0,8)}{82,23}} \right] = 10,93 \frac{kN}{m^2}$$

Se resumen a continuación, todas las presiones obtenidas para los diferentes casos, estando los valores en $\frac{kN}{m^2}$:

Presiones de olas							
		Caso A	Caso B			Caso C	Caso D
Zona	Z	Pw	Pw	Zona	Z	Pw	Pw
F. cresta	0	15.20	7.60	Fondo	0	21.03	10.52
F. seno	0	-15.20	-7.60	C. Z<T1	3.60	25.09	12.55
C. Z<T1 cresta	3.6	20.01	10.00	C. Z>T1	7.20	30.06	15.03
C. Z<T1 seno	3.6	-20.01	-10.00	Cub. FB	9.10	4.38	-1.63
C. Z>T1 cresta	7.2	26.34	13.17	Pantoque	0.80	21.87	10.93
C. Z>T1 seno	7.2	0.00	0.00				
Cub. FB cresta	9.1	12.08	12.08				
Cub. FB seno	9.1	0	0				
Pantoque	0.8	16.16	8.08				

Tabla 5. Presiones de olas

4.2. PRESIÓN DE CARGAS LÍQUIDAS

Para los cálculos de la presión debida a cargas líquidas, que en este caso será el combustible, se calculan de acuerdo a lo estipulado en el Bureau Veritas, parte B, capítulo 5, sección 6.

4.2.1. PRESIÓN EN AGUAS TRANQUILAS

Para la presión de cargas líquidas se usa la siguiente expresión:

$$P_S = \rho_L \cdot g \cdot (z_L - z)$$

$$Z_L = Z_L + 0,5 \cdot (z_{AP} - z_{TOP})$$

Donde Z_{AP} es la coordenada en el eje vertical del punto más alto de la “air pipe” del tanque.

En el caso de la cuaderna maestra, es tomará como referencia el volumen del tanque de



combustible más grande, con una “air pipe” de 0,8 metros de altura:

$$Z_L = 3,7 + 0,5 \cdot ((3,7 + 0,8) - 3,7) = 4,1 \text{ m}$$

En ningún caso se tomará un valor inferior a:

$$P_S = \rho_L \cdot g \cdot \left(\frac{0,8 \cdot L_1}{420 - L_1} \right) = 0,86 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 82,23}{420 - 82,23} \right) = 1,64 \frac{kN}{m^2}$$

- Fondo

$$P_S = 0,86 \cdot 9,81 \cdot (4,1 - 0) = 34,59 \frac{kN}{m^2}$$

- Pantoque

$$P_S = 0,86 \cdot 9,81 \cdot (4,1 - 0,8) = 27,84 \frac{kN}{m^2}$$

- Costado

$$P_S = 0,86 \cdot 9,81 \cdot (4,1 - 1,8) = 19,4 \frac{kN}{m^2}$$

- Mamparos

$$P_S = 0,86 \cdot 9,81 \cdot (4,1 - 2) = 17,72 \frac{kN}{m^2}$$

Se resumen a continuación, todas las presiones obtenidas para los diferentes casos, estando los valores en $\frac{kN}{m^2}$.

Presión aguas tranquilas			
Zona	z	zl	Ps
Fondo	0	4.1	34.59
Pantoque	0.8	4.1	27.84
Costado	1.8	4.1	19.40
Mamparos tanque	2	4.1	17.72

Tabla 6. Presión de carga líquida aguas tranquilas



4.2.2. PRESIÓN INERCIAL

Conviene calcular previamente una serie de valores que se emplearán en el cálculo de estas presiones, de acuerdo a lo estipulado en el Bureau Veritas, parte B, capítulo 5, sección 3.

- a) Aceleración de avance (surge)

Se tomará como:

$$a_{SU} = 0,5 \frac{m}{s^2}$$

- b) Aceleración de deriva (sway)

$$a_{SW} = 0,775 \cdot a_B \cdot g = 0,775 \cdot 0,33 \cdot 9,81 = 2,52 \frac{m}{s^2}$$

- c) Aceleración de arfada (heave)

$$a_H = a_B \cdot g = 0,33 \cdot 9,81 = 3,25 \frac{m}{s^2}$$

- d) Amplitud de cabeceo (pitch)

$$A_P = 0,328 \cdot a_B \cdot \left(1,32 - \frac{h_W}{L}\right) \cdot \left(\frac{0,6}{C_B}\right)^{0,75}$$

$$A_P = 0,328 \cdot 0,33 \cdot \left(1,32 - \frac{7,89}{82,23}\right) \cdot \left(\frac{0,6}{0,653}\right)^{0,75} = 0,12 \text{ rad}$$

- e) Periodo de cabeceo (pitch)

$$T_P = 0,575 \cdot \sqrt{L} = 0,575 \cdot \sqrt{82,23} = 5,21 \text{ s}$$

- f) Aceleración angular de cabeceo (pitch)

$$\alpha_P = A_P \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_P}\right)^2 = 0,12 \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{5,21}\right)^2 = 0,18 \frac{rad}{s^2}$$



g) Aceleración de guiñada (yaw)

$$\alpha_y = 1,581 \cdot \frac{a_B \cdot g}{L} = 1,581 \cdot \frac{0,33 \cdot 9,81}{82,23} = 0,062 \frac{rad}{s^2}$$

h) Amplitud de balanceo (roll)

$$A_R = a_B \cdot \sqrt{E} = 0,33 \cdot \sqrt{0,79} = 0,3 \text{ rad}$$

i) Periodo de balanceo (roll)

$$T_R = 2,2 \cdot \frac{\delta}{\sqrt{GM}} = 2,2 \cdot \frac{6,35}{\sqrt{1,27}} = 12,4 \text{ s}$$

j) Aceleración de balanceo (roll)

$$\alpha_R = A_R \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_R}\right)^2 = 0,3 \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{12,4}\right)^2 = 0,076 \frac{rad}{s^2}$$

La presión inercial dependerá del caso a estudiar, entre los cuatro casos ya explicados en apartados anteriores, de la siguiente manera:

- Caso A

$$P_W = 0$$

- Caso B

$$P_W = \rho_L \cdot [0,5 \cdot a_{x1} \cdot \ell_B + a_{z1} \cdot (z_{TOP} - z)]$$

Donde los valores de las aceleraciones a_{x1} y a_{z1} se calculan de acuerdo a lo estipulado en el Bureau Veritas, parte B, capítulo 5, sección 3, tomando como altura de medición de los tanques 3 metros.

$$a_{x1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [A_P \cdot g + \alpha_P \cdot (Z - T_1)]^2} = \sqrt{0,5^2 + [0,12 \cdot 9,81 + 0,18 \cdot (3,6 - 7,2)]^2}$$



$$a_{x1} = 0,68 \frac{m}{s^2}$$

$$a_{z1} = \sqrt{a_H^2 + \alpha_P^2 \cdot K_x \cdot L^2} = 3,82 \frac{m}{s^2}$$

$$k_x = 1,2 \cdot \left(\frac{x}{L}\right)^2 - 1,1 \cdot \frac{x}{L} + 0,2 = 1,2 \cdot \left(\frac{41,4}{82,23}\right)^2 - 1,1 \cdot \frac{41,4}{82,23} + 0,2 = -0,05$$

Pero por regla $k_x \geq 0,018$ luego $k_x = 0,018$

Siendo ℓ_B es la distancia longitudinal o transversal entre los mamparos transversales del tanque considerado, en este caso: $\ell_B = 10,8 m$, como distancia longitudinal y $\ell_B = 4,8 m$, como distancia transversal.

- Caso C

$$P_W = \rho_L \cdot [a_{TY} \cdot (y - y_H) + a_{tz} \cdot (Z - Z_H) + g \cdot (Z - Z_{TOP})]$$

Donde:

$$a_{y2} = \sqrt{a_{SW}^2 + [A_R \cdot g + \alpha_R \cdot (z - T)]^2 + \alpha_Y^2 \cdot K_x \cdot L^2}$$

$$a_{y2} = \sqrt{2,52^2 + [0,3 \cdot 9,81 + 0,076 \cdot (3 - 7,2)]^2 + 0,062^2 \cdot 0,018 \cdot 82,23^2} = 3,67 \frac{m}{s^2}$$

$$a_{z2} = \sqrt{0,25 \cdot a_H^2 + \alpha_R^2 \cdot y^2} = \sqrt{0,25 \cdot 3,25^2 + 0,076^2 \cdot 9^2} = 1,76 \frac{m}{s^2}$$

Y entonces:

$$a_{TY} = 0,7 \cdot C_{FA} \cdot a_{y2} = 0,7 \cdot 0,7 \cdot 3,67 = 1,8 \frac{m}{s^2}$$

$$a_{tz} = -0,7 \cdot C_{FA} \cdot a_{z2} - g = -0,7 \cdot 0,7 \cdot 1,76 - 9,81 = -10,67 \frac{m}{s^2}$$

Las coordenadas del punto más alto en la dirección y a banda opuesta al vector aceleración total son: $z_H=3,7m$; $y_H=-2,22m$.

- Caso D

Se calcula de igual manera que en el caso C, pero con un factor de combinación $C_{FA}=1$ en vez del $C_{FA}=0,7$ usado en el caso anterior.



- **Caso A**

La presión inercial en el caso A, será nula para todos los casos

$$P_W = 0$$

- **Caso B**

- Fondo

$$P_W = 0,86 \cdot [0,5 \cdot 0,68 \cdot 4,8 + 3,82 \cdot (3,7 - 0)] = 15,31 \frac{kN}{m^2}$$

- Pantoque

$$P_W = 0,86 \cdot [0,5 \cdot 0,68 \cdot 4,8 + 3,82 \cdot (3,7 - 0,8)] = 10,93 \frac{kN}{m^2}$$

- Costado

$$P_W = 0,86 \cdot [0,5 \cdot 0,68 \cdot 4,8 + 3,82 \cdot (3,7 - 1,8)] = 7,64 \frac{kN}{m^2}$$

- Mamparo longitudinal tanque

$$P_W = 0,86 \cdot [0,5 \cdot 0,68 \cdot 4,8 + 3,82 \cdot (3,7 - 2)] = 6,99 \frac{kN}{m^2}$$

- Mamparo transversal tanque

$$P_W = 0,86 \cdot [0,5 \cdot 0,68 \cdot 10,8 + 3,82 \cdot (3,7 - 2)] = 8,75 \frac{kN}{m^2}$$

- **Caso C**

- Fondo

$$P_W = 0,86 \cdot [1,8 \cdot (1,6 - 2,7)] + (-10,67) \cdot (0 - 3,7) + 9,81 \cdot (3,7 - 0) = 71,83 \frac{kN}{m^2}$$

- Pantoque

$$P_W = 0,86 \cdot [1,8 \cdot (2,7 - (-2,7)) + (-10,67) \cdot (0,8 - 3,7) + 9,81 \cdot (3,7 - 0,8)] = 57,89 \frac{kN}{m^2}$$

- Costado

$$P_W = 0,86 \cdot [1,8 \cdot (2,7 - (-2,7)) + (-10,67) \cdot (1,8 - 3,7) + 9,81 \cdot (3,7 - 1,8)] = 41,82 \frac{kN}{m^2}$$



- Mamparo transversal tanque

$$P_W = 0,86 \cdot [1,8 \cdot (2,7 - (-2,7)) + (-10,67) \cdot (2 - 3,7) + 9,81 \cdot (3,7 - 2)] = 38,3 \frac{kN}{m^2}$$

- Mamparo longitudinal tanque

$$P_W = 0,86 \cdot [1,8 \cdot (5,33 - (-5,48)) + (-10,67) \cdot (2 - 3,7) + 9,81 \cdot (3,7 - 2)] = 46,66 \frac{kN}{m^2}$$

- **Caso D**

- Fondo

$$P_W = 0,86 [2,57 \cdot (1,6 - (-2,7)) + (-11,04) \cdot (0 - 3,7) + 9,81 \cdot (3,7 - 0)] = 75,86 \frac{kN}{m^2}$$

- Pantoque

$$P_W = 0,86 [2,57 \cdot (2,7 - (-2,7)) + (-11,04) \cdot (0,8 - 3,7) + 9,81 \cdot (3,7 - 0,8)] = 57,89 \frac{kN}{m^2}$$

- Costado

$$P_W = 0,86 [2,57 \cdot (2,7 - (-2,7)) + (-11,04) \cdot (1,8 - 3,7) + 9,81 \cdot (3,7 - 1,8)] = 46,00 \frac{kN}{m^2}$$

- Mamparo transversal tanque

$$P_W = 0,86 [2,57 \cdot (2,7 - (-2,7)) + (-11,04) \cdot (2 - 3,7) + 9,81 \cdot (3,7 - 2)] = 42,42 \frac{kN}{m^2}$$

- Mamparo longitudinal tanque

$$P_W = 0,86 [2,57 \cdot (5,33 - 5,48)) + (-11,04) \cdot (2 - 3,7) + 9,81 \cdot (3,7 - 2)] = 48,23 \frac{kN}{m^2}$$

Se resumen a continuación, todas las presiones obtenidas para los diferentes casos, estando los valores en $\frac{kN}{m^2}$.



Presión inercial						
Zona	z	y	Caso A	Caso B	Caso C	Caso D
Fondo	0	1.6	0.00	13.55	71.83	75.86
Pantoque	0.8	1.7	0.00	10.93	57.89	61.73
Costado	1.8	2.7	0.00	7.64	41.82	46.00
Tanque T	2	2.7	0	8.75	38.30	42.42
Tanque L	2	5.33	0	6.99	46.66	48.23

Tabla 7. Presión inercial

4.3. ESCANTILLONADO SEGÚN NORMATIVA

La normativa a aplicar será la recogida en la parte B, capítulo 7, sección 1 que nos fija unos valores mínimos de espesor de chapa según la zona del buque, tal y como se recoge en los puntos siguientes.

4.3.1. DOBLE FONDO

En el doble fondo se van a tener tres espesores de chapa diferentes, ya que en la parte inferior y crujía del buque se encuentra la quilla.

Además deberá definirse el espesor de la chapa exterior del casco y del techo del doble fondo.

- a) Quilla: tendrá un espesor mínimo dado por la expresión siguiente.

$$t_{quilla} = 3,8 + 0,04 \cdot L \cdot k^{1/2} + 4,5 \cdot s$$

El valor de s , es la longitud del lado más corto de la pieza, que se tomará como la distancia entre cuadernas: 0,6, entonces:

$$t_{quilla} = 3,8 + 0,04 \cdot 82,23 \cdot 1^{1/2} + 4,5 \cdot 0,6 = 9,79 \text{ mm}$$

La longitud de la quilla se extiende desde el final inferior de la roda hasta el homónimo del codaste, y su anchura mínima viene especificada en el reglamento, parte B, capítulo 4, sección 4, regla 1.3.1 como:



$$b = 0,8 + 0,5 \cdot \frac{L}{100} = 0,8 + 0,5 \cdot \frac{82,23}{100} = 1,21 \text{ m}$$

Se tomará una anchura de la quilla de 1,5 metros.

b) Exterior

El forro exterior tendrá, de acuerdo a la normativa, para estructura longitudinal, que será la empleada en la sección central del buque, un espesor mínimo de:

$$t_{fondo \text{ ext}} = 1,9 + 0,032 \cdot L \cdot k^{1/2} + 4,5 \cdot s$$

$$t_{fondo \text{ ext}} = 2,8 + 0,032 \cdot 82,23 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,6 = 7,23 \text{ mm}$$

Y para sección transversal, empleada en los cuerpos de proa y popa:

$$t_{fondo \text{ ext}} = 2,8 + 0,032 \cdot L \cdot k^{1/2} + 4,5 \cdot s$$

$$t_{fondo \text{ ext}} = 2,8 + 0,032 \cdot 82,23 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,6 = 8,13 \text{ mm}$$

c) Techo doble fondo

Las planchas del techo del doble fondo se dividen en dos, las que pertenecen a la cámara de máquinas y las que no, cada una con un espesor diferente.

a. Cámara de máquinas

$$t_{DF \text{ CCMM}} = 3 + 0,024 \cdot L \cdot k^{1/2} + 4,5 \cdot s$$

$$t_{DF \text{ CCMM}} = 3 + 0,024 \cdot 82,23 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,6 = 7,67 \text{ mm}$$

b. Fuera de cámara de máquinas

$$t_{DF \text{ no CCMM}} = 1,9 + 0,024 \cdot L \cdot k^{1/2} + 4,5 \cdot s$$

$$t_{DF \text{ no CCMM}} = 1,9 + 0,024 \cdot 82,23 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,6 = 6,57 \text{ mm}$$



4.3.2. COSTADO

Por considerarse la cubierta de francobordo como cubierta resistente, el espesor de la plancha de costado será:

$$t_{costado} = 2,1 + 0,031 \cdot L \cdot k^{1/2} + 4,5 \cdot s$$

$$t_{costado} = 2,1 + 0,031 \cdot 82,23 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,6 = 7,35 \text{ mm}$$

4.3.3. CUBIERTA RESISTENTE

El espesor de la cubierta resistente dependerá de su posición a lo largo de la eslora (zona central o extremos de proa y popa), así como del tipo de estructura empleada.

En los extremos la estructura será transversal, mientras que en la zona central como se ha expuesto en anteriores ocasiones será longitudinal.

a) Zona central del buque

$$t_{cub \text{ central long}} = 1,6 + 0,032 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s$$

$$t_{cub \text{ central long}} = 1,6 + 0,032 \cdot 82,23 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,65 = 6,93 \text{ mm}$$

b) Extremos de proa y popa del buque

$$t_{cub \text{ extremos}} = 2,1 + 0,013 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s$$

$$t_{cub \text{ extremos}} = 2,1 + 0,013 \cdot 82,23 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,6 = 6,8 \text{ mm}$$

4.3.4. CUBIERTA ACOMODACIÓN

El espesor de cubierta es constante para las cubiertas de acomodación del buque, grupo al que pertenecen todas las cubiertas interiores del buque por encima de la cubierta de doble fondo (donde se dispone la cámara de máquinas), sin incluirse esta.

Cubierta acomodación



$$t_{cub\ acomodaci3n} = 1,3 + 0,004 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s$$

$$t_{cub\ acomodaci3n} = 1,3 + 0,004 \cdot 82,23 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,6 = 4,33\text{ mm}$$

4.3.5. MAMPAROS ESTANCOS

El espesor de los mamparos es diferente según sean transversales o longitudinales, dado que el buque incorpora un mamparo longitudinal estanco en la cámara de máquinas se calculará también dicho espesor.

a) Mamparos transversales

$$t_{m.transv.} = 1,3 + 0,004 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s$$

$$t_{m.transv.} = 1,3 + 0,004 \cdot 82,23 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,6 = 4,33\text{ mm}$$

b) Mamparos longitudinales

$$t_{m.long.} = 1,7 + 0,013 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s$$

$$t_{m.long.} = 1,7 + 0,013 \cdot 82,23 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,6 = 5,47\text{ mm}$$

4.3.6. MAMPAROS DE TANQUES

El espesor mínimo según la reglamentación para los mamparos de los tanques será el especificado en las reglas como:

$$t_{m.tq.} = 1,7 + 0,013 \cdot L \cdot k^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot s$$

$$t_{m.tq.} = 1,7 + 0,013 \cdot 82,23 \cdot 1^{\frac{1}{2}} + 4,5 \cdot 0,6 = 5,47\text{ mm}$$



4.4. ESCANTILLONADO DEBIDO A LAS PRESIONES DE MAR

Antes de comenzar con el cálculo de espesores debido a las presiones ejercidas sobre los tanques deben definirse una serie de parámetros, de acuerdo a lo estipulado en el Bureau Veritas, parte B, capítulo 7, sección 1.

Además se tendrá en cuenta que los espesores mínimos calculados a continuación son netos, esto es, no se está teniendo en cuenta el margen por corrosión.

Los espesores de plancha a tratar debido a las presiones de mar serán los del fondo, pantoque y costado.

a) Relación de aspecto de la plancha

$$c_a = 1,21 \cdot \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{s}{l}$$

Donde s es la distancia más corta del panel y l la distancia más larga.

En caso de que resulte superior a la unidad se tomará como $c_a = 1$

En nuestro caso:

$$c_a = 1,21 \cdot \sqrt{1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,65}{3,5}\right)^2} - 0,69 \cdot \frac{0,65}{3,5} = 1,1$$

Conque elegiremos: $c_a = 1$

b) Coeficiente de curvatura del panel

$$c_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{s}{r}$$

Donde r es el radio de curvatura del panel.

En caso de que resulte inferior a 0,5 se tomará como $c_r = 0,5$.

Al considerar el radio de curvatura suficientemente grande en las planchas de fondo, cubiertas y costados se tomará como válido: $c_r = 1$



c) Factor de seguridad por resistencia

$$\gamma_R = 1,2$$

d) Factor de seguridad por material

$$\gamma_m = 1,02$$

e) Factor de seguridad por presión en aguas tranquilas

$$\gamma_{S2} = 1$$

f) Factor de seguridad por presión en olas

$$\gamma_{W2} = 1,2$$

g) Tensión admisible

La tensión admisible observada en buques reales similares ha sido de $118 \frac{N}{mm^2}$, $125 \frac{N}{mm^2}$ y $132 \frac{N}{mm^2}$; se va a considerar el segundo valor, que se ha obtenido de los datos técnicos de un astillero real, luego:

$$\sigma_{x1} = 125 \frac{N}{mm^2}$$

h) Tensión mínima de fluencia del material

Este valor quedó definido al principio del cuaderno para acero dulce de calidad naval tipo A y resulta:

$$R_Y = 235 \frac{N}{mm^2}$$

i) Tensión de cizallamiento buque viga

Se tomará el valor mínimo dado por la sociedad de clasificación, a falta de datos más concretos, dicho valor se define como:

$$\tau_1 = \frac{47}{k} \cdot \left\{ 1 - \frac{6,3}{\sqrt{L_1}} \right\} = \frac{47}{1} \cdot \left\{ 1 - \frac{6,3}{\sqrt{82,23}} \right\} = 14,35 \frac{N}{mm^2}$$

En la regla 3 de la misma sección del reglamento se definen los espesores para buques de estructura longitudinal y estructura transversal.



En este apartado se estudia únicamente el cuerpo central, por ser la sección más representativa, pero se realizarán aparte los estudios de las secciones de proa y popa.

La fórmula general para espesores de las planchas en milímetros para estructura longitudinal es:

$$t = 14,9 \cdot c_a \cdot c_r \cdot s \cdot \sqrt{\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{\lambda_L \cdot R_Y}}$$

Donde el valor de λ_L dependerá de la zona a la que esté destinado como se expone a continuación:

- Fondo, doble fondo y cubiertas

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0,95 \cdot \left(\gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_Y} \right)^2} - 0,225 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_Y}$$
$$\lambda_L = \sqrt{1 - 0,95 \cdot \left(1,02 \cdot \frac{125}{235} \right)^2} - 0,225 \cdot 1,02 \cdot \frac{125}{235} = 0,727 \frac{N}{mm^2}$$

- Lateral, mamparos longitudinales y pantoque

$$\lambda_L = \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\gamma_m \cdot \frac{\tau_1}{R_Y} \right)^2 - 0,95 \cdot \left(\gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_Y} \right)^2} - 0,225 \cdot \gamma_m \cdot \frac{\sigma_{x1}}{R_Y}$$
$$\lambda_L = \sqrt{1 - 3 \cdot \left(1,02 \cdot \frac{28,7}{235} \right)^2 - 0,95 \cdot \left(1,02 \cdot \frac{125}{235} \right)^2} - 0,225 \cdot 1,02 \cdot \frac{125}{235} = 0,713 \frac{N}{mm^2}$$

Con estos valores se procede al cálculo de espesores de planchas, tomando siempre el caso (A, B, C o D) en el que la presión de olas sea más desfavorable.

4.4.1. DOBLE FONDO

El caso más desfavorable es el C, con el barco inclinado:



$$t = 14,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 72,4 + 1,2 \cdot 21,03}{0,727 \cdot 235}} = 8,1 \text{ mm}$$

4.4.2. PANTOQUE

En el caso del pantoque el valor de c_r variará con el radio de curvatura del pantoque, este radio es de 2,01 metros.

$$c_r = 1 - 0,5 \cdot \frac{0,65}{2,01} = 0,838$$

La altura del pantoque sobre la línea de base se considerará como 0,8 metros, obteniéndose entonces las siguientes presiones para el caso C, más desfavorable:

$$P_S = 64,35 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_W = 21,87 \frac{kN}{m^2}$$

$$t = 14,9 \cdot 1 \cdot 0,838 \cdot 0,65 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 64,35 + 1,2 \cdot 21,87}{0,713 \cdot 235}} = 6,61 \text{ mm}$$

En cualquier caso el valor de este espesor deberá ser superior al más grande entre el recién calculado y el obtenido de la siguiente expresión:

$$t_{pantoque} = 0,7 \cdot [\gamma_R \cdot \gamma_m \cdot (\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W) \cdot S_b]^{0,4} \cdot R^{0,6} \cdot k^{\frac{1}{2}}$$

$$t_{pantoque} = 0,7 \cdot [1,2 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 64,35 + 1,2 \cdot 21,87) \cdot 2,6]^{0,4} \cdot 2,01^{0,6} \cdot 1^{\frac{1}{2}} = 10,26 \text{ mm}$$

4.4.3. COSTADO

Considerando el punto de aplicación a 3,6 metros de altura sobre la línea base, para el caso C, más desfavorable:



$$t = 14,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 36,2 + 1,2 \cdot 30,06}{0,713 \cdot 235}} = 7,04 \text{ mm}$$

4.4.4. CUBIERTA RESISTENTE

En la cubierta resistente la presión de aguas tranquilas se tomará como nula, con que su espesor vendrá dado por:

$$t = 14,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 0 + 1,2 \cdot 12,08}{0,727 \cdot 235}} = 3,12 \text{ mm}$$

4.5. ESCANTILLONADO POR CARGAS LOCALES

Aquellas debidas a cargas locales del buque, como pueden ser las presiones ejercidas por el combustible almacenado a bordo, de acomodación o de maquinaria. En el caso de otras cargas locales como grúas sobre cubiertas por ejemplo, al ser puntos concretos se solucionarán con los refuerzos locales.

Para las cargas líquidas emplearemos la formulación dada en el Bureau Veritas, parte B, capítulo 5, sección 6, regla 1.

4.5.1. FONDO

Con la misma formulación que se empleó para el espesor debido a cargas de mar se calcula el escantillonado mínimo debido a cargas de combustible, usando en este caso las presiones locales calculadas en apartados previos.

Para una estructura longitudinal, en el caso D, por resultar este el más desfavorables.

$$t = 14,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 34,59 + 1,2 \cdot 75,86}{0,727 \cdot 235}} = 9,19 \text{ mm}$$



4.5.2. PANTOQUE

$$t = 14,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 27,84m + 1,2 \cdot 61,73}{0,727 \cdot 235}} = 8,36 \text{ mm}$$

4.5.3. COSTADO

$$t = 14,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 19,4 + 1,2 \cdot 46,00}{0,713 \cdot 235}} = 7,15 \text{ mm}$$

4.5.4. MAMPAROS DE TANQUES

Se va a tomar una altura media de 2 metros para los cálculos de presión sobre los mamparos del tanque, ya que es aproximadamente el centro de presiones de los mismos, tanto en casos longitudinales como transversales.

- Mamparos transversales

$$t = 14,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 17,72 + 1,2 \cdot 42,42}{0,713 \cdot 235}} = 6,86 \text{ mm}$$

- Mamparos longitudinales

$$t = 14,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 1,02 \cdot \frac{1 \cdot 17,72 + 1,2 \cdot 48,23}{0,713 \cdot 235}} = 7,20 \text{ mm}$$



4.5.5. ACOMODACIÓN Y MAQUINARIA

De acuerdo al Bureau Veritas, parte B, capítulo 5, sección 6, regla 7, el cálculo de cargas locales de acomodación se toma, para aguas tranquilas dependiendo del tipo de local de acuerdo a la siguiente tabla:

Type of accommodation compartment	p_s , in kN/m ²
Large public spaces, such as: restaurants, halls, cinemas, lounges	5,0
Large rooms, such as: • rooms with fixed furniture • games and hobbies rooms, hospitals	3,0
Cabins	3,0
Other compartments	2,5

Figura 17. Cargas acomodación

Y para maquinas como $P_S = 10 \frac{kN}{m^2}$.

La presión inercial, en el caso A es nula, y en los casos C y D no se tiene en cuenta, por lo tanto se tomará únicamente el caso B, donde se define como:

$$P_W = P_S \cdot \frac{a_{z1}}{g}$$

Se resumen los valores en la tabla según el tipo de cubierta, presiones en $\frac{kN}{m^2}$ y espesor en mm, usando la misma expresión que en apartados anteriores.

Cubierta acomodación			
Cubierta	P_s	P_w	t
Espacios públicos grandes	5	1.95	2.05
Locales grandes	3	1.17	1.59
Camarotes	3	1.17	1.59
Otros	2.5	0.97	1.45
Maquinaria	10	3.89	2.90

Tabla 8. Presiones cargas acomodación



4.6. RESUMEN ESPESORES

Una vez se han estimado los diferentes espesores en función del reglamento, cargas debidas al mar y cargas locales, se definirán entonces los espesores definitivos, añadiendo los márgenes de corrosión de acuerdo a lo estipulado en el Bureau Veritas, parte B, capítulo 4, sección 2, regla 3.

Compartment type		General (1)	Special cases
Ballast tank (2)		1,00	1,25 in upper zone (6)
Cargo oil tank and fuel oil tank (3)	Plating of horizontal surfaces	0,75	1,00 in upper zone (6)
	Plating of non-horizontal surfaces	0,50	1,00 in upper zone (6)
	Ordinary stiffeners and primary supporting members	0,75	1,00 in upper zone (6)
Independant tank of ships with service notation liquefied gas carrier (4)		0,00	
Cofferdam in cargo area of ships with the service notation liquefied gas carrier		1,00	
Dry bulk cargo hold (5)	General	1,00	
	Inner bottom plating	1,75	
	Side plating for single hull ship		
	Inner side plating for double hull ship		
	Sloping stool plate of hopper tanks and lower stool		
	Transverse bulkhead plating		
	Frames, ordinary stiffeners and primary supporting members	1,00	1,50 in lower zone (7)
Tanks for fresh water		0,5	
Tanks for water-based mud		1,25	
Tanks for oil-based mud		1,25	
Tanks for drilling brines		1,25	
Moonpool		1,75	
Compartment located between independant tank and inner side of ships with the additional service feature asphalt carrier		1,00	
Hopper well of dredging ships		2,00	
Accommodation space		0,00	
Compartments other than those mentioned above		0,50	
Outside sea and air			
(1) General: corrosion additions t_c are applicable to all members of the considered item with possible exceptions given for upper and lower zones.			
(2) Ballast tank: does not include cargo oil tanks which may carry ballast according to Regulation 13 of MARPOL 73/78.			
(3) For ships with the service notation chemical tanker ESP , the corrosion addition t_c may be taken equal to 0 for cargo tanks covered with a protective lining or coating (see IBC, 6).			
(4) The corrosion addition t_c specified for cargo tanks is to be applied when required in IGC, 4.5.2.			
(5) Dry bulk cargo hold: includes holds, intended for the carriage of dry bulk cargoes, which may carry oil or water ballast.			
(6) Upper zone: area within 1,5 m below the top of the tank. This is to be applied only to tanks with weather deck as the tank top.			
(7) Lower zone: area within 3 m above the bottom of the tank or the hold.			

Figura 18. Márgenes espesores

Se toma entonces el mayor de los valores previamente calculados y se añaden los márgenes de corrosión correspondientes a cada caso, obteniendo los valores mínimos que deberán cumplir en cualquier caso los diferentes espesores de plancha elegidos en función de la zona del buque que se esté considerando.



Espesores cuaderna maestra					
Plancha	Reglamento	Mar	Cargas locales	t neto	t + margen corrosión
Quilla	9.79	7.48	-	9.79	11.04
Fondo	7.23	7.48	8.48	8.48	9.73
Doble fondo	6.57	-	1.45	6.57	7.32
Doble fondo CCMM	7.67	-	2.90	7.67	8.42
Trancanil	7.35	4.59	-	7.35	7.85
Costado bajo flotación	7.35	6.50	6.60	7.35	7.85
Cubierta superior	6.93	2.88	-	6.93	7.43
Cub. esp. públicos grandes	4.33	-	2.05	4.33	4.33
Cub. locales grandes	4.33	-	1.59	4.33	4.33
Cub. camarotes	4.33	-	1.59	4.33	4.33
Cub. otros	4.33	-	1.45	4.33	4.33
Mamparo transv. estanco	4.33	-	6.33	6.33	7.33
Mamparo long. estanco	5.47	-	6.64	6.64	7.64
Mamparo tanque transv.	5.47	-	6.33	6.33	7.33
Mamparo tanque long.	5.47	-	6.64	6.64	7.64
Pantoque	-	9.93	7.71	9.93	10.93

Tabla 9. Espesores plancha cuaderna maestra

Con estos valores va a definirse una primera versión de la cuaderna maestra, pero no serán los definitivos, si no que se optimizarán y recalcularán mediante el software de Bureau Veritas, Mars 2000.



5. ESTRUCTURA Y REFUERZOS

En cualquier caso el espesor de los refuerzos primarios nunca será inferior a:

$$t_{min} = 3,7 + 0,015 \cdot L \cdot k^{1/2}$$

$$t_{min} = 3,7 + 0,015 \cdot 82,23 \cdot 1^{\frac{1}{2}} = 4,93 \text{ mm}$$

El módulo de la sección y área neta de la sección, de acuerdo al reglamento es, para refuerzos primarios longitudinales y transversales:

$$w = \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \beta_b \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{m \cdot (R_Y - \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \sigma_{x1})} \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3$$

$$A_{sh} = 10 \cdot \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \beta_s \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{R_Y} \cdot s \cdot l$$

Y para los secundarios:

$$w = \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \beta_b \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{12 \cdot (R_Y - \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \sigma_{x1})} \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot l}\right) \cdot s \cdot l^2 \cdot 10^3$$

$$A_{sh} = 10 \cdot \gamma_R \cdot \gamma_m \cdot \beta_s \frac{\gamma_{S2} \cdot P_S + \gamma_{W2} \cdot P_W}{R_Y} \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot l}\right) \cdot s \cdot l$$

Todos los coeficientes pertenecientes a estas ecuaciones o bien han sido definidos ya, o bien se calculan de acuerdo a lo estipulado en la parte B, capítulo 7, sección 3, regla 3 de la sociedad de clasificación empleada.

El valor de σ_{x1} se calculará mediante:

$$\sigma_{x1} = \frac{M_f}{Z}$$

Valor que dependerá de qué plancha se esté estudiando, y en cada caso se modificará a medida que se añadan los refuerzos, pues el valor de Z se verá alterado con la adición o



deducción de refuerzos estructurales, volviendo así a entrar en la espiral de diseño, con los valores obtenidos.

5.1. FONDO Y DOBLE FONDO

Como se ha explicado, esta zona del buque dispondrá de estructura tipo transversal, por ello los refuerzos primarios serán longitudinales, consistentes en vagras, se situará una vagra central sobre la quilla, y dos vagras laterales por cada costado, con una separación de 3,5 metros respecto de crujía la primera y 2 metros más la segunda.

El reglamento a emplear será el estipulado en la parte B, capítulo 7, secciones 2 y 3, para los refuerzos primarios y ordinarios.

Los refuerzos primarios se estudiarán tanto longitudinales como transversales.

a) Longitudinales

La altura de las vagras será la del doble fondo, es decir entre la plancha de fondo y la cubierta del doble fondo.

- Vagra central

La vagra central, por incorporará pasos de hombre, y de acuerdo al reglamento el espesor mínimo de la vagra central será:

$$t_{vagra\ central} = 2 \cdot L^{1/3} \cdot k^{1/6}$$
$$t_{vagra\ central} = 2 \cdot 82,23^{1/3} \cdot 1^{1/6} = 8,70\ mm$$

- Vagras laterales

Las vagras laterales dispondrán de pasos de hombre, tanto para ayudar en la inspección como para permitir el paso de carga líquida en los tanques.

Se empleará un perfil tipo T, que de acuerdo al reglamento tendrá para estas dimensiones y cargas un espesor mínimo de la parte vertical de 17,5 mm y de 10,5 mm para la parte horizontal.

Se han escogido como dimensiones *web*: 1000 mm x 20 mm y *flange*: 300 mm x 12 mm en el caso de las vagras situadas a 3,5 metros y de *web*: 880 mm x 20 mm y *flange*: 300 mm x 12 mm para las situadas a 5,5 metros respecto de crujía.

b) Transversales

Se dispondrán refuerzos transversales cada cuatro cuadernas, es decir varengas equiespaciadas 2,4 metros. Dichas varengas contarán con pasos de hombre de 600x400 mm, y su perfil será tipo T.

Los refuerzos secundarios, para este tipo de estructura serán longitudinales.

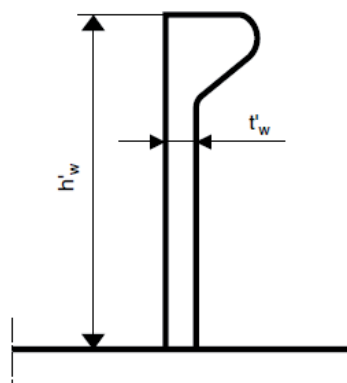
Se situarán longitudinales en el fondo cada 600 mm a partir del final de la plancha de quilla y hasta el comienzo de la plancha de pantoque, a excepción del punto coincidente con la vagra más alejada de crujía.

Además en la quilla se dispondrá un longitudinal de igual características a 0,7 metros de crujía.

En el techo del doble fondo se van a instalar, para la sección maestra cuatro longitudinales, entre crujía y el mamparo transversal del tanque de combustible.

Los refuerzos se tomarán tipo bulbo teniendo en cuenta las siguientes normativas dadas por el Bureau Veritas:

Figure 1 : Dimensions of a bulb section



$$h_w = h'_w - \frac{h'_w}{9,2} + 2$$

$$t_w = t'_w$$

$$b_f = \alpha \left[t'_w + \frac{h'_w}{6,7} - 2 \right]$$

$$t_f = \frac{h'_w}{9,2} - 2$$

where:

h'_w, t'_w : Height and net thickness of the bulb section, in mm, as shown in Fig 1

α : Coefficient equal to:

$$1,1 + \frac{(120 - h'_w)^2}{3000} \text{ for } h'_w \leq 120$$

$$1 \text{ for } h'_w > 120$$

$$A_s \geq t_f b_f$$

$$\frac{h_w}{t_p} \geq 10$$

$$\frac{h_w}{t_f} \geq 10$$

where:

A_s : Net sectional area, in mm², of the attached plating



Los perfiles comerciales de bulbo se incluyen en el anexo 1.

Entonces en el caso del fondo se instalará un total de 11 longitudinales en la semimanga separados 600 mm entre sí, tipo bulbo con dimensiones 140x10 mm, una vagra central de espesor 10 mm, y dos vagras adicionales por costado, una a 3,5 metros de crujía, con dimensiones 1000x100 mm y otra a 5,5 metros de crujía con dimensiones 800x50 mm.

En doble fondo se dispondrán 4 longitudinales para la semimanga tipo bulbo, separados 700 mm entre sí, con dimensiones 160x7 mm.

Las planchas empleadas finalmente son 12 mm en la quilla, 10 mm en el fondo y 8 mm en el techo del doble fondo.

5.2. PANTOQUE Y COSTADOS

En el pantoque se van a disponer 4 refuerzos longitudinales tipo bulbo de 140x10 mm, para mejorar el comportamiento del buque, disponiendo de una plancha de 12 mm.

En el caso de los costados van a disponerse 10 refuerzos longitudinales con perfil tipo bulbo de características idénticas a las de pantoque, es decir 140x10 mm, siendo la plancha de costado finalmente de 9 mm.

Para la estructura transversal se dispondrán cada cuatro cuadernas, refuerzos transversales de costado, tipo T.

5.3. CUBIERTAS Y MAMPAROS

Para las cubiertas se dispondrán refuerzos longitudinales tipo bulbo con dimensiones 160x8 mm, espaciados entre sí 600 mm, siendo 15 a lo largo de la semimanga en cada cubierta.

Lo que si difieren son los espesores de cubiertas, siendo 8 mm la inferior (que actúa como techo del tanque de combustible) y la cubierta expuesta, pero 6 mm para la cubierta principal.

En los mamparos no estancos o pertenecientes a tanques se definirá el espesor de la plancha necesario para mejorar el comportamiento de la estructura, por ello los mamparos bajo la cubierta resistente dispondrán de un espesor 6 mm, no así los inmediatamente inferiores, dispuestos sobre la cubierta inferior pero bajo la principal, que serán de 7 mm, finalmente los mamparos del doble fondo y la cubierta inferior están en contacto con la carga, es por ello que sus valores serán de 11 mm para el mamparo perteneciente al tanque más grande 8 mm para el mamparo del tanque de servicio diario.

Adicionalmente se han diseñado refuerzos longitudinales de barra plana para dichos



mamparos de los tanques, a fin de evitar daños en la estructura, serán barras de dimensiones 140x12 mm, dispuestos cada 700 mm en el caso del tanque de servicio diario (resultando un total de tres refuerzos longitudinales) e igual perfil y distribución para el caso del tanque de almacenamiento principal.

En cuanto a los refuerzos transversales se van a instalar baos bajo las cubiertas, tipo T con dimensiones 300x10; 120x12 mm.

6. MARS 2000

Una vez se ha calculado y definido el diferente escantillonado de la cuaderna maestra, se procede a comprobar los resultados con el programa de Bureau Veritas, Mars 2000.

6.1. DATOS ENTRADA

Lo primero que debe hacerse es definir, de acuerdo a los planos de distribución general, datos de otros cuadernos que se necesiten, así como del presente cuaderno, las diferentes planchas y mamparos con sus correspondientes espesores.

6.1.1. ESPESORES PLANCHAS

Se definen y muestran a continuación los espesores con el código de colores del programa.

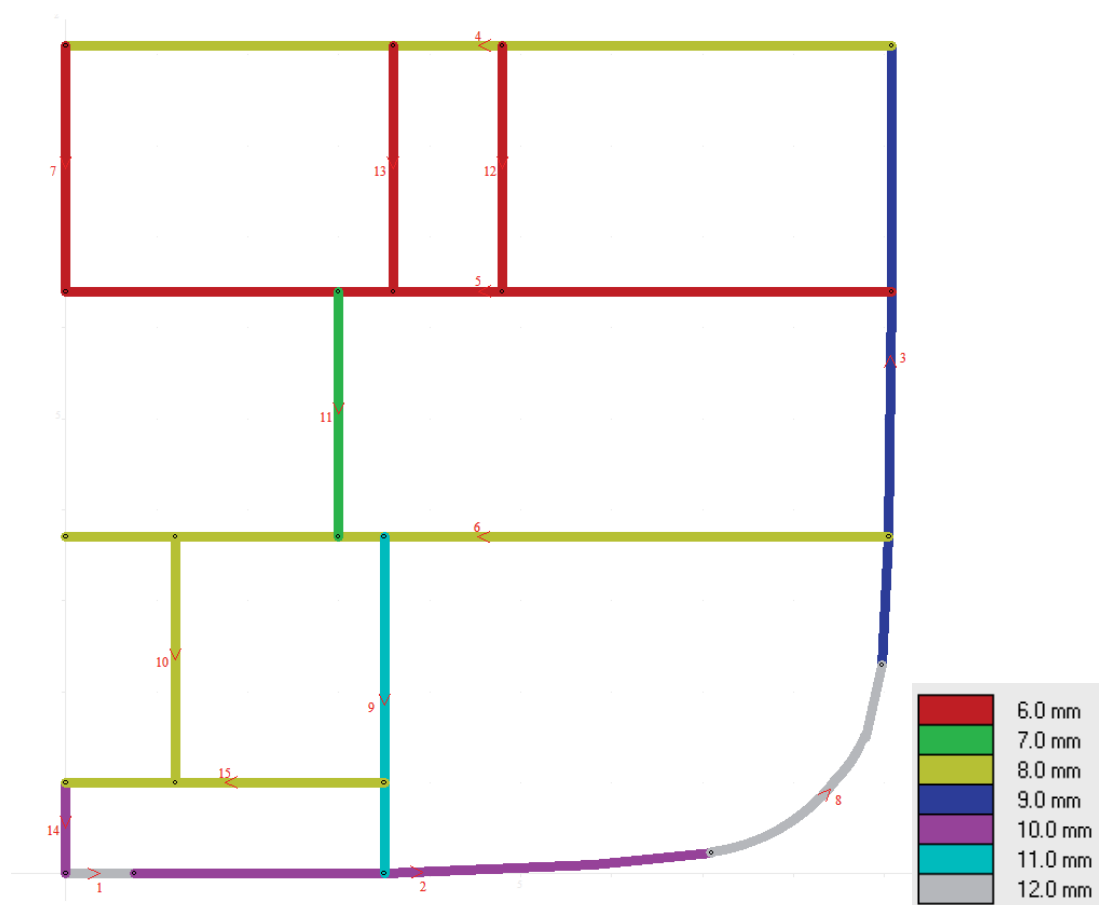


Figura 19. Espesores planchas

6.1.2. TIPO DE MAMPARO

Una vez definidas las planchas y sus espesores correspondientes, se procede a indicar a qué tipo de compartimento o forro pertenece cada una.

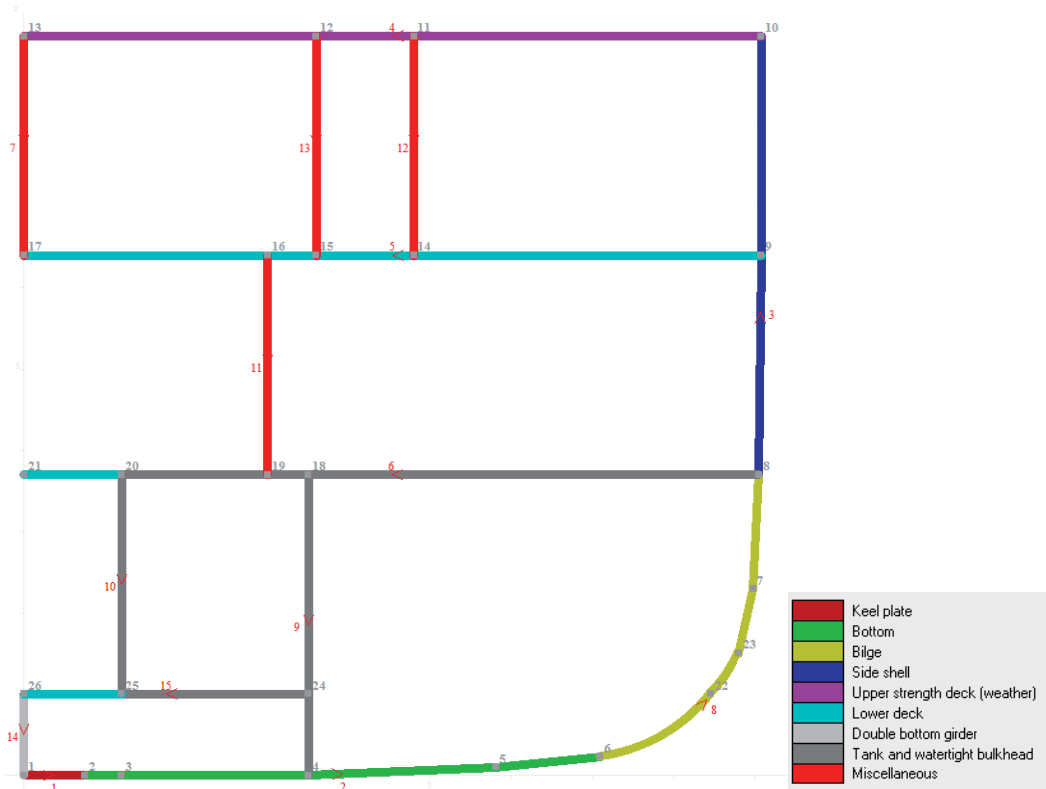


Figura 20. Tipo de mamparo

6.1.3. REFUERZOS LONGITUDINALES

Se definen los refuerzos de acuerdo a lo explicado anteriormente en este cuaderno, tal y como se muestra en la figura siguiente, donde se puede ver que además de las vagras y los perfiles tipo bulbo definidos, se han añadido perfiles de barra plana en los mamparos longitudinales de los tanques, pues las cargas resultaban excesivas, y así se ha logrado mejorar el comportamiento de dichos mamparos, evitando fallos estructurales.

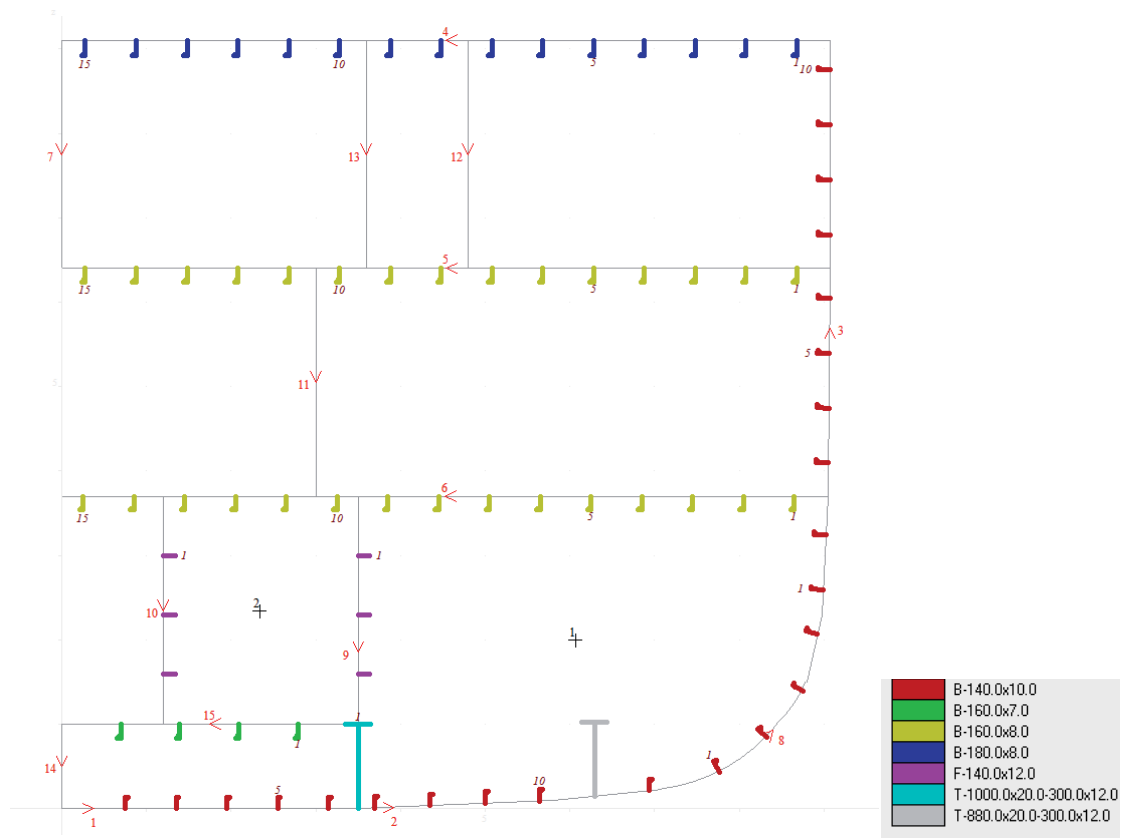


Figura 21. Refuerzos longitudinales

6.2. RESULTADOS

Una vez ha quedado definida la cuaderna maestra, se procede a calcular la respuesta de la misma a las diferentes situaciones de carga.

6.2.1. MÓDULO DE SECCIÓN, INERCIA Y EJE NEUTRAL

El primer paso a estudiar es si cumple o no los módulos de sección e inercia mínimos estipulados por la sociedad de clasificación, así como la posición del eje neutro.

Dichos valores se pueden observar en la tabla siguiente, donde observamos que cumplen ampliamente el mínimo definido por el Bureau Veritas.



	Rule	Actual	at z / BL
Modulus at deck	1.51731	2.88591 (m3)	9.100 (m)
Modulus at bottom	1.51731	3.49052 (m3)	0.000 (m)
Inertia	2.97753	14.37596 (m4)	

Gross area of cross-section	1.40399 m2
Effective area of cross-section	1.40399 m2
Moment of inertia / GY axis	14.3760 m4
Moment of inertia / GZ axis	41.9049 m4
Neutral axis (above base line)	4.119 m
Section modulus at deck (Wp)	2.8859 m3
Section modulus at bottom (Wf)	3.4905 m3

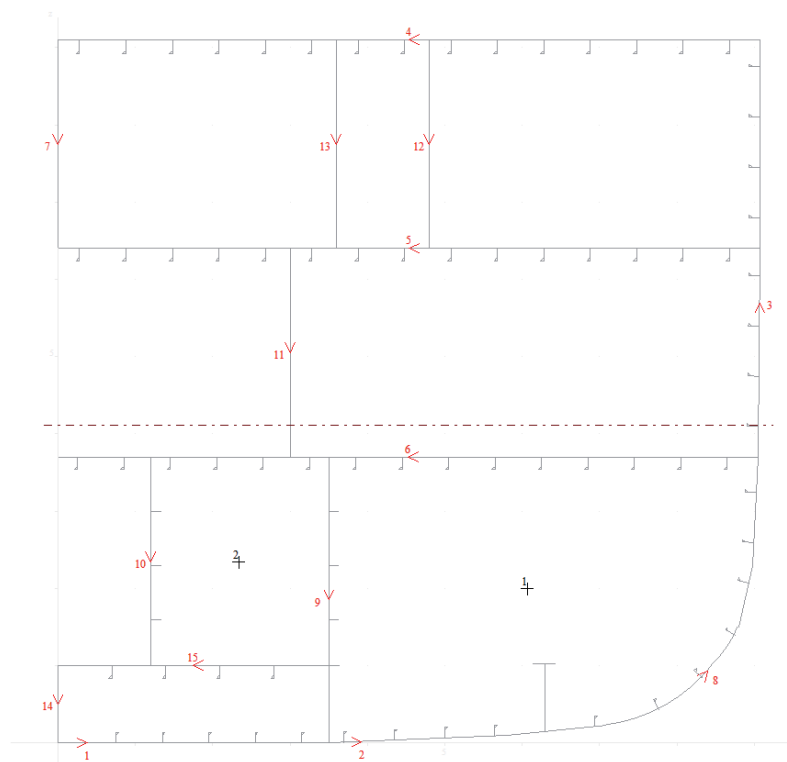


Figura 22. Cuaderna maestra, eje neutro

valores introducidos.

Obviamente el punto en el que cambia el sentido de la deformación es el eje neutro de la maestra.

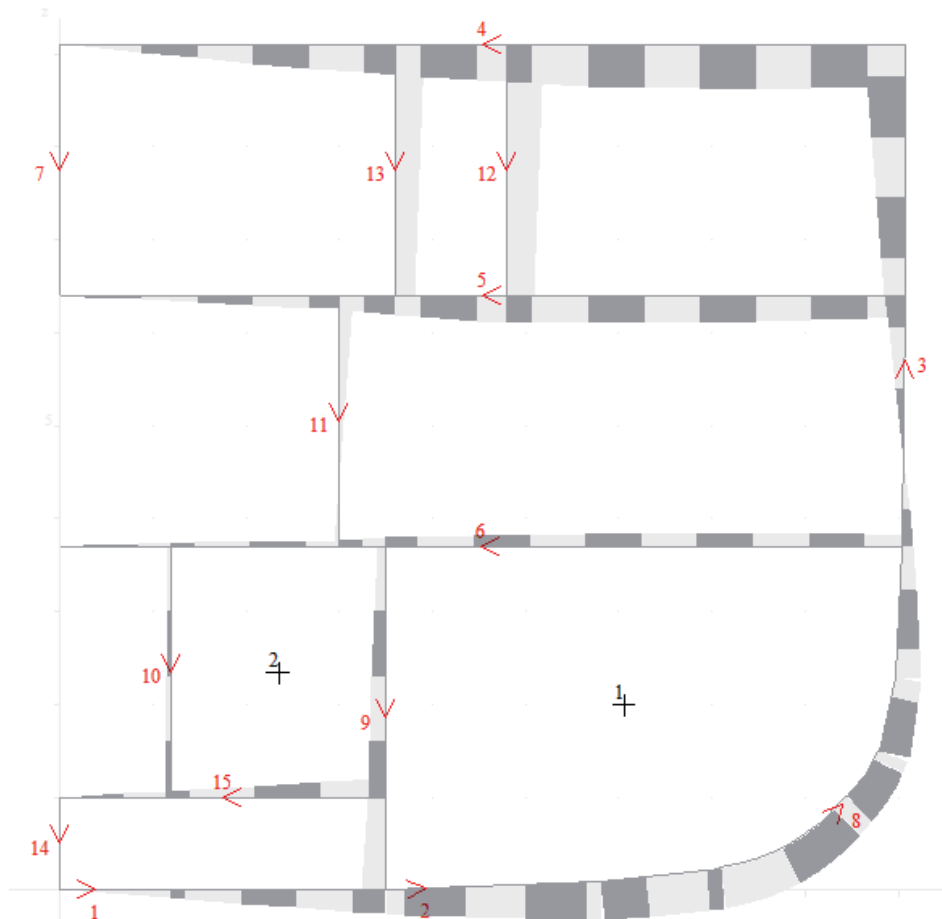


Figura 24. Deformaciones cuaderna maestra



7. CONCLUSIONES

Se han calculado y decidido a lo largo de este cuaderno los escantillonados del buque, de acuerdo a la reglamentación de la sociedad de clasificación Bureau Veritas, y una vez hecho esto se ha comprobado con el software propio de dicha sociedad de clasificación que lo calculado cumplía con la reglamentación exigida.

La estructura del buque soportará por tanto las posibles cargas a las que se encuentre sometida durante la navegación y operación del mismo, sin tener un sobredimensionamiento del refuerzo, que incrementaría excesivamente tanto el peso como el precio final del presente proyecto.



8. BIBLIOGRAFÍA

[1] MEIZOSO FERNÁNDEZ, MANUEL; ALVARIÑO CASTRO, RICARDO; AZPÍROZ AZPÍROZ, JUAN JOSÉ. *“El Proyecto Básico del Buque Mercante”*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval, 1997

[2] BUREAU VERITAS. *“Rules for the classification of steel ships, PART B”*. Julio 2014



9. ANEXO 1: PERFILES BULBO COMERCIALES

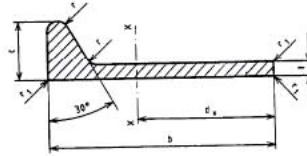


Tabla 3-29 Dimensiones, secciones transversales, masa por unidad de longitud, superficies laterales y características geométricas de las llantas con bulbo.

Dimensión nominal	Dimensiones para				Sección transversal	Masa/Ud de longitud	Superficie lateral	Distancia al centro de gravedad	Características geométricas respecto al eje x-x	
	b mm	t mm	c mm	r mm	A cm ²	G Kg/m	U m ² /m	d cm	I _x cm ⁴ momento de inercia	W _x cm ³ módulo elástico
80 x 5	80	5	14	4	5.41	4.25	0.189	4.9	33.87	6.91
80 x 6	80	6	14	4	6.21	4.88	0.191	4.78	38.7	8.1
100 x 7	100	7	15.5	4.5	8.74	6.68	0.236	5.87	85.3	14.5
100 x 8	100	8	15.5	4.5	9.74	7.65	0.238	5.78	94.3	16.3
120 x 6	120	6	17	5	9.32	7.32	0.276	7.21	133	18.5
120 x 7	120	7	17	5	10.52	8.26	0.278	7.07	149	21
120 x 8	120	8	17	5	11.72	9.2	0.28	6.96	165	23.6
140 x 7	140	7	19	5.5	12.43	9.75	0.32	8.32	241	29
140 x 8	140	8	19	5.5	13.83	10.85	0.322	8.18	266	32.5
140 x 10	140	10	19	5.5	16.63	13.05	0.326	7.99	315	39.5
160 x 7	160	7	22	6	14.6	11.46	0.365	9.66	373	38.6
160 x 8	160	8	22	6	16.2	12.72	0.367	9.5	411	43.3
160 x 9	160	9	22	6	17.8	13.97	0.369	9.37	449	47.9
160 x 11	160	11	22	6	21	16.49	0.373	9.16	522	57
180 x 8	180	8	25	7	18.86	14.8	0.411	10.89	609	55.9
180 x 9	180	9	25	7	20.66	16.22	0.413	10.73	664	61.8
180 x 10	180	10	25	7	22.46	17.63	0.415	10.59	717	67.7
180 x 11	180	11	25	7	24.26	19.04	0.417	10.47	770	73.5
200 x 9	200	9	28	8	23.66	18.57	0.457	12.12	942	77.7
200 x 10	200	10	28	8	25.66	20.14	0.459	11.96	1017	85.1
200 x 11	200	11	28	8	27.66	21.71	0.461	11.82	1091	92.3
200 x 12	200	12	28	8	29.66	23.28	0.463	11.69	1164	99.5
220 x 10	220	10	31	9	29	22.77	0.503	13.35	1396	105
220 x 11	220	11	31	9	31.2	24.5	0.506	13.19	1496	114
220 x 12	220	12	31	9	33.4	26.22	0.507	13.04	1595	122
240 x 10	240	10	34	10	32.49	25.5	0.547	14.77	1865	126
240 x 11	240	11	34	10	34.89	27.39	0.549	14.58	1997	137
240 x 12	240	12	34	10	37.29	29.27	0.551	14.42	2127	148
260 x 10	260	10	37	11	36.11	28.35	0.591	16.22	2434	150
260 x 11	260	11	37	11	38.71	30.39	0.593	16	2605	163
260 x 12	260	12	37	11	41.31	32.43	0.596	15.81	2774	175
280 x 11	280	11	40	12	42.68	33.5	0.637	17.44	3333	191
280 x 12	280	12	40	12	45.48	35.7	0.639	17.23	3647	206
280 x 13	280	13	40	12	48.28	37.9	0.641	17.04	3757	221
300 x 11	300	11	43	13	43.78	36.7	0.681	18.9	4192	222
300 x 12	300	12	43	13	49.79	39.09	0.683	18.7	4459	239
300 x 13	300	13	43	13	52.79	41.44	0.685	18.45	4722	256
320 x 12	320	12	46	14	54.25	42.6	0.728	20.12	5525	275
320 x 13	320	13	46	14	57.45	45.09	0.73	19.89	5849	294
320 x 14	320	14	46	14	60.85	47.6	0.732	19.68	6168	313
340 x 12	340	12	49	15	58.84	46.2	0.772	21.69	6757	313
340 x 13	340	13	49	15	62.24	48.86	0.774	21.34	7540	335
340 x 14	340	14	49	15	65.54	51.5	0.776	21.1	7152	357
370 x 13	370	13	53.5	16.5	69.7	54.7	0.84	23.54	9469	402
370 x 14	370	14	53.5	16.5	73.4	57.6	0.842	23.29	9980	429
370 x 15	370	15	53.5	16.5	77.1	60.5	0.844	23.06	10483	456
400 x 14	400	14	58	18	81.48	63.96	0.908	25.49	12924	507
400 x 15	400	15	58	18	85.48	67.1	0.91	25.24	13573	538
400 x 16	400	16	58	18	89.49	70.2	0.912	25	14211	568
430 x 14	430	14	62.5	19.5	89.7	70.6	0.975	27.7	16460	594
430 x 15	430	15	62.5	19.5	94.19	73.9	0.976	27.46	17249	629
430 x 17	430	17	62.5	19.5	102.79	80.7	0.98	26.95	18853	700
430 x 19	430	19	62.5	19.5	111.39	87.4	0.984	26.53	20413	770
430 x 20	430	20	62.5	19.5	115	90.8	0.986	26.3	21180	804

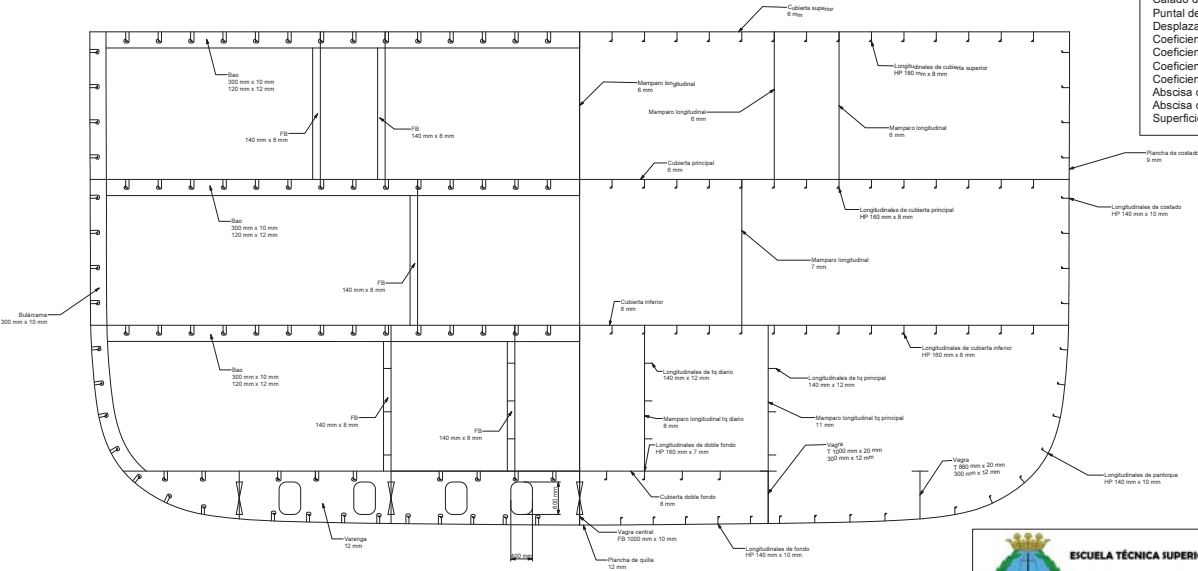
Unión de Almacenistas de Hierros de España, C/ Príncipe de Vergara, 74 – 28006 Madrid
Tfno: 91 411 06 98 Fax: 91 411 18 34 Web: www.uahe.es E-mail: consultas@uahe.info
NOTA: Fuente básica empleada Normativa facilitada por AENOR (www.aenor.es)



10.ANEXO 2: CUADERNA MAESTRA Y SECCIONES DE POPA Y PROA

PFC Nº 252: BUQUE OCEANOGRÁFICO 7000 T

MATERIAL: ACERO DULCE CALIDAD NAVAL TIPO A SOCIEDAD DE CLASIFICACIÓN: BUREAU VERITAS NOTACIONES: DYNAPOS DP 2	
MOMENTO MÁXIMO EN AGUAS TRANQUILAS: - QUEBRANTO: 110.681 Kn - ARRUGO: -132.769 kN	
Eslera total (Loa).....	87,36 m
Eslera flotación (Lw).....	84,76 m
Eslera entre perpendiculares (Lbp).....	80,04 m
Manga de trazado (B).....	18,15 m
Calado de proyecto (T).....	7,2 m
Puntal de trazado (D).....	9,1 m
Desplazamiento (Δ).....	7020 t
Coefficiente prismático (Cp).....	0,68
Coefficiente de bloque (Cb).....	0,655
Coefficiente de la maestra (Cm).....	0,967
Coefficiente de la flotación (Cwp).....	0,877
Abscisa centro de flotación (Xf) *.....	-2,82 m
Abscisa centro de carena (Xb) *.....	-6,77 m
Superficie mojada (Sw).....	2002,65 m2





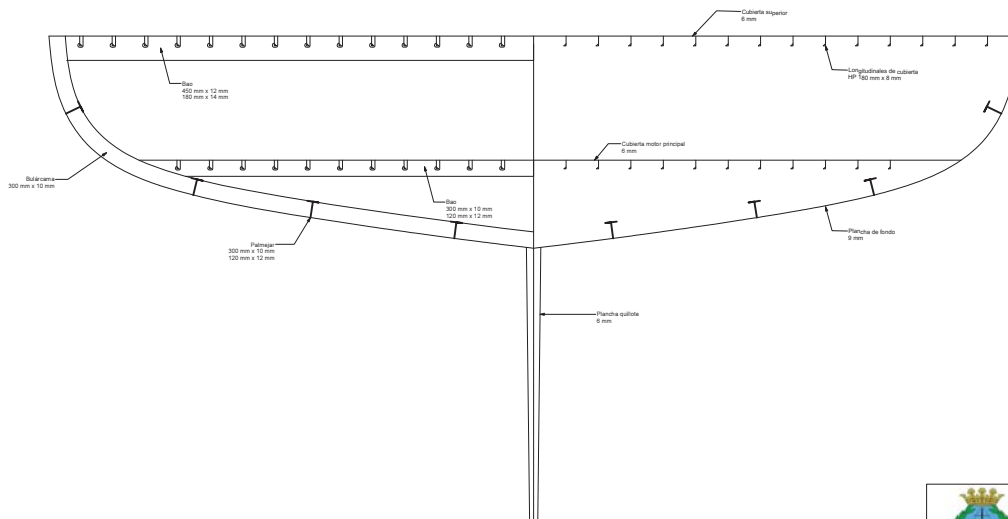
ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

CUADERNA MAESTRA	Plano: 1001	Escala: 1:70	Formato: A3
Alumno: Alejandro Rodríguez Rodríguez	Fecha: 15/05/2015		
Tutor: Eloy J. Carrillo Hontoria	Hoja: 1 de 1		

PFC N° 252: BUQUE OCEANOGRÁFICO 7000 T



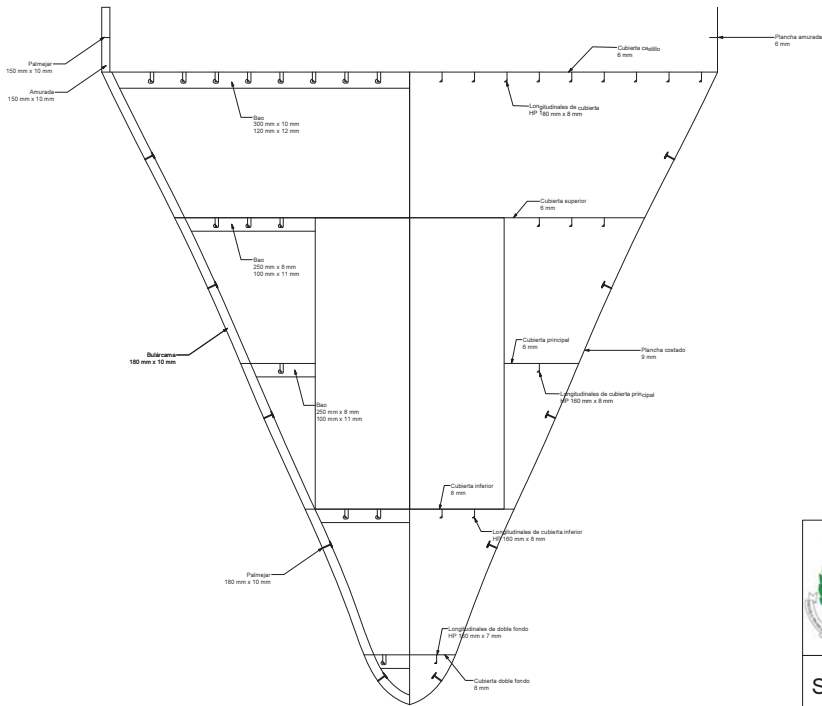
MATERIAL: ACERO DULCE CALIDAD NAVAL TIPO A
SOCIEDAD DE CLASIFICACIÓN: BUREAU VERITAS
NOTACIONES: DYNAPOS DP 2

MOMENTO MÁXIMO EN AGUAS TRANQUILAS:
- QUEBRANTO: 110.681 Kn
- ARRUFÓ: -132.769 kN

Eslera total (Loa).....	87.36 m
Eslera flotación (Lwl).....	84.76 m
Eslera entre perpendiculares (Lbp).....	80.04 m
Manga de trazado (B).....	18.15 m
Calado de proyecto (T).....	7.2 m
Puntal de trazado (D).....	9.1 m
Desplazamiento (Δ).....	7020 t
Coefficiente prismático (Cp).....	0.68
Coefficiente de bloque (Cb).....	0.655
Coefficiente de la maestra (Cm).....	0.967
Coefficiente de la flotación (Cwp).....	0.877
Abscisa centro de flotación (Xf) *	-2.82 m
Abscisa centro de carena (Xb) *	-6.77 m
Superficie mojada (Sw).....	2002.65 m ²



PFC Nº 252: BUQUE OCEANOGRÁFICO 7000 T



MATERIAL: ACERO DULCE CALIDAD NAVAL TIPO A	
SOCIEDAD DE CLASIFICACIÓN: BUREAU VERITAS	
NOTACIONES: DYNAPOS DP 2	
MOMENTO MÁXIMO EN AGUAS TRANQUILAS:	
- QUEBRANTO: 110.681 Kn	
- ARRUFO: -132.769 kN	
Eslora total (Loa).....	87.36 m
Eslora flotación (Lwl).....	84.76 m
Eslora entre perpendiculares (Lbp).....	80.04 m
Manga de trazado (B).....	18.15 m
Calado de proyecto (T).....	7.2 m
Puntal de trazado (D).....	9.1 m
Desplazamiento (Δ).....	7020 t
Coefficiente prismático (Cp).....	0.68
Coefficiente de bloque (Cb).....	0.655
Coefficiente de la maestra (Cm).....	0.967
Coefficiente de la flotación (Cwp).....	0.877
Abscisa centro de flotación (Xf) *	-2.82 m
Abscisa centro de carena (Xb) *	-6.77 m
Superficie mojada (Sw).....	2002.65 m2

<div><div></div><div><div>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES</div><div>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID</div></div><div></div></div>			
SECCIÓN PROA (C.110)	Plano: 1003	Escala: 1:70	Formato: A3
Alumno: Alejandro Rodríguez Rodríguez		Fecha: 15/05/2015	
Tutor: Eloy J. Carrillo Hontoria		Hoja: 1 de 1	



11.ANEXO 3: RESULTADOS MARS 2000



MARS2000
Oceanográfico 7000
ARR

User : Alejandro Rodríguez
Organisation : PFC nº 252
Login : Alex

Cross Section Characteristics

Gross scantling

Geometric Properties (For the whole cross-section)

Geometric Area of Cross-Section

	Steel (235)	Total Area
Strakes	1.050748	1.050748
Longitudinals	0.355242	0.355242
Total (m ²)	1.405991	1.405990

Geometric area of cross-section	1.405991	m ²
Effective area	1.405991	m ²
Single moment above neutral axis	(/ neutral axis) . . . 1.973411	m ³
Single moment of half section	(/ centre line) . . . 3.282769	m ³
Moment of inertia / G _y axis	(IG _y) . . 14.402280	m ⁴
Moment of inertia / G _z axis	(IG _z) . . 41.904910	m ⁴
Position of neutral axis	(above base line) . . . (N) . . . 4.11342	m
Modulus at deck	(9.100 m) . . (Z _{AD}) . . . 2.888209	m ³
Modulus at bottom	(0.000 m) . . (Z _{AB}) . . . 3.501287	m ³
Transverse sectional area of deck flange	0.248989	m ²
Transverse sectional area of bottom flange	0.341268	m ²

These characteristic (except geometric area) are effective values assuming an homogeneous material of 206000 (N/mm²) as Young modulus.

Profiles

Type	Scantling				Number
flat	140	×	12.0		12
bulb	180	×	8.0		30
bulb	160	×	8.0		60
bulb	160	×	7.0		8
bulb	140	×	10.0		48
t-bar	880	×	20.0	300 × 12.0	2
t-bar	1000	×	20.0	300 × 12.0	2

Strakes

Thickness (mm)	Length (m)
12.000	8.551
11.000	7.400
10.000	12.717
9.000	13.614
8.000	48.660

Thickness (mm)	Length (m)
7.000	5.400
6.000	31.660

The length indicated is the total length for the strakes having same thickness.

Cross Section Characteristics Net scantling

Geometric Properties (For the whole cross-section)

Geometric Area of Cross-Section

	Steel (235)	Total Area
Strakes	0.911779	0.911779
Longitudinals	0.319718	0.319718
Total (m ²)	1.231497	1.231496

Geometric area of cross-section	1.231497	m ²
Effective area	1.231497	m ²
Single moment above neutral axis (/ neutral axis) . . .	1.734410	m ³
Single moment of half section (/ centre line) . . .	2.883306	m ³
Moment of inertia / G _y axis (IG _y) . .	12.701820	m ⁴
Moment of inertia / G _z axis (IG _z) . .	36.877960	m ⁴
Position of neutral axis (above base line) (N)	4.08321	m
Modulus at deck (9.100 m) . . (Z _{AD}) . . .	2.531863	m ³
Modulus at bottom (0.000 m) . . (Z _{AB}) . . .	3.110741	m ³
Transverse sectional area of deck flange	0.218539	m ²
Transverse sectional area of bottom flange	0.306907	m ²

These characteristic (except geometric area) are effective values assuming an homogeneous material of 206000 (N/mm²) as Young modulus.

Hull Girder Loads**Vertical Bending Moment**

	Hogging (kNm)	Sagging (kNm)
S.W.B.M. Builder's proposal in Basic Ship Data	110 681.	132 761.
S.W.B.M. Builder's proposal at X = 41.4 m	-	-
S.W.B.M. preliminary value at midship	100 542.	- 78 454.
S.W.B.M. preliminary value at X = 41.4 m	100 542.	- 78 454.
Rule Vertical Wave Bending Moment at X = 41.4 m . . .	110 681.	- 132 769.

Design Hull Girder Loads at X = 41.4 m

	Hogging (kNm)	Sagging (kNm)
S.W.B.M.	110 681.	- 132 761.
Wave bending moment (Rule)	110 681.	- 132 769.
Horizontal wave bending moment	59 834.	

	Positive (KN)	Negative (KN)
Vertical still water shear force	3 082.	
Vertical wave shear force	3 082.	- 3 082.

Admissible Vertical Shear Forces

Total Admissible Vert. Shear Force (KN)	22 253.
Positive Admissible Vert. Still Water Shear Force (KN)	19 170.
Negative Admissible Vert. Still Water Shear Force (KN)	19 170.

Section moduli and Inertia

X section	41.400 (m)
X mid, defining midship section (+/- 0.1 m)	41.115 (m)
X mid - 0.2 L	24.669 (m)
X mid + 0.2 L	57.561 (m)

Minimum section modulus at midship section ($k = 1$, $n_1 = 1$) 1.2070 (m³)

Rule section moduli

	Deck (m ³)	Bottom (m ³)
Modulus based on design BM, Hog. (221 361.9 kNm)	1.2649	1.2649
Modulus based on design BM, Sag. (- 265 529.9 kNm)	1.5173	1.5173
Rule Modulus	1.5173	1.5173

Check of section moduli and inertia

	Rule	Actual
Deck (9.100 m)	1.5173	2.8882
Bottom (0.000 m)	1.5173	3.5013
Inertia	2.9775	14.4023

Check of Net/Gross Moduli

	Actual Gross	Actual Net	%
Deck (9.100 m)	2.8882	2.5319	87.7
Bottom (0.000 m)	3.5013	3.1107	88.8

Local Rule Requirements - Strake

N°	tGActu.	tGRule tGRuleBuck				Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
CAdd	tNetActu.	tLoad	SigX1	ps	pw	Case	Tau1		
		tTest	σ_N Actu.	σ_N Rule		Case	σ_{Ap} Buck	σ_{CRIT} Buck	
		tMini	τ_N Actu.	τ_N Rule		Case	τ_{Ap} Buck	τ_{CRIT} Buck	

1 - Quilla

1	12.00		11.50	8.00		ST235	0.750	1.000	100
1.00	11.00		6.54	72.41	72.40	15.20	SEA-a1	2.27	
			0.00	75.84	175.00		a	-60.37	-132.64
			10.46	2.37	110.00		a	1.05	107.43

Local Rule Requirements - Strake

N°	tGActu.	tGRule tGRuleBuck				Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
CAdd	tNetActu.	tLoad tTest tMini	SigX1 σ_N Actu. τ_N Actu.	ps σ_N Rule τ_N Rule	pw	Case	Tau1		
						Case	σ_{Ap} Buck	σ_{CRIT} Buck	
						Case	τ_{Ap} Buck	τ_{CRIT} Buck	

2 - Fondo

2	10.00	8.50	7.50			ST235	0.650	1.000	100
1.25	8.75	6.11	59.46	70.90	22.25	SEA-c+	5.99		
		1.93	75.84	175.00		a	-60.24	-118.57	
		7.46	9.94	110.00		a	9.00	103.63	

Local Rule Requirements - Strake

N°	tGActu.	tGRule tGRuleBuck				Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
CAdd	tNetActu.	tLoad tTest tMini	SigX1 σ_N Actu. τ_N Actu.	ps σ_N Rule τ_N Rule	pw	Case	Tau1		
						Case	σ_{Ap} Buck	σ_{CRIT} Buck	
						Case	τ_{Ap} Buck	τ_{CRIT} Buck	

3 - Costado

3	9.00	9.00	8.00	ST235 0.650 1.000 100					
1.00	8.00	6.17	30.28	63.02	34.90	SEALIQ 1-c-	12.40		
		1.83	91.94	175.00		a	-81.62	-107.65	
		0.00	22.36	110.00		a	21.35	100.24	

Local Rule Requirements - Strake

N°	tGActu.	tGRule tGRuleBuck				Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
CAdd	tNetActu.	tLoad tTest tMini	SigX1 σ_N Actu. τ_N Actu.	ps σ_N Rule τ_N Rule	pw	Case	Tau1		
						Case	σ_{Ap} Buck	σ_{CRIT} Buck	
						Case	τ_{Ap} Buck	τ_{CRIT} Buck	
						Case	τ_{Ap} Buck	τ_{CRIT} Buck	

4 - Cubierta superior

4	8.00		8.00	8.00		ST235	0.600	1.000	100
1.00	7.00		3.39	74.97	6.85 21.05	SEA-c+	5.67		
			0.00	91.94	175.00	a	-87.79	-90.35	
			7.00	10.49	110.00	a	10.02	108.90	

Local Rule Requirements - Strake

N°	tGActu.	tGRule tGRuleBuck				Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	tNetActu.	tLoad	SigX1	ps	pw	Case	Tau1		
CAdd		tTest	σ_N Actu.	σ_N Rule		Case	σ_{Ap} Buck	σ_{CRIT} Buck	
		tMini	τ_N Actu.	τ_N Rule		Case	τ_{Ap} Buck	τ_{CRIT} Buck	

5 - Cubierta principal

5	6.00	5.50	5.50			ST235	0.600	1.000	100
	5.00	1.24	40.25	3.00	1.36	AccDeck-b	9.00		
		0.00	42.16	175.00		a	-40.25	-46.09	
1.00		4.33	23.73	110.00		a	21.86	105.23	

Local Rule Requirements - Strake

N°	tGActu.	tGRule tGRuleBuck				Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
CAdd	tNetActu.	tLoad	SigX1	ps	pw	Case	Tau1		
		tTest	σ_N Actu.	σ_N Rule		Case	σ_{Ap} Buck	σ_{CRIT} Buck	
		tMini	τ_N Actu.	τ_N Rule		Case	τ_{Ap} Buck	τ_{CRIT} Buck	

6 - Cubierta inferior

6	8.00	7.50	4.00			ST235	0.600	1.000	100
1.25	6.75	6.05	9.84	100.00	13.30	LIQ 1-d-	2.83		
		0.00	7.62	175.00		c	-14.41	-85.95	
		5.47	15.70	110.00		c	14.99	115.52	

Local Rule Requirements - Strake

N°	tGActu.	tGRule tGRuleBuck				Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
CAdd	tNetActu.	tLoad	SigX1	ps	pw	Case	Tau1		
		tTest	σ_N Actu.	σ_N Rule		Case	σ_{Ap} Buck	σ_{CRIT} Buck	
		tMini	τ_N Actu.	τ_N Rule		Case	τ_{Ap} Buck	τ_{CRIT} Buck	

7 - Mamparo long

7	6.00		0.00	18.50		ST235	0.000	0.000	100
1.00	5.00		0.00						
			0.00	91.94	175.00	a	-87.79	-7.23	
			0.00	12.79	110.00	a	8.29	24.43	

Local Rule Requirements - Strake

N°	tGActu.	tGRule tGRuleBuck				Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
CAdd	tNetActu.	tLoad	SigX1	ps	pw	Case	Tau1		
		tTest	σ_N Actu.	σ_N Rule		Case	σ_{Ap} Buck	σ_{CRIT} Buck	
		tMini	τ_N Actu.	τ_N Rule		Case	τ_{Ap} Buck	τ_{CRIT} Buck	

8 - Pantoque

8	12.00		7.50	6.50		ST235	0.700	1.000	100
1.25	10.75		6.36	45.78	61.08	SEALIQ 1-c-	8.43		
			2.03	71.60	175.00	a	-56.99	-192.64	
			0.00	12.76	110.00	a	11.90	108.13	

Local Rule Requirements - Strake

N°	tGActu.	tGRule tGRuleBuck				Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
CAdd	tNetActu.	tLoad tTest tMini	SigX1 σ_N Actu. τ_N Actu.	ps σ_N Rule τ_N Rule	pw	Case	Tau1		
						Case	σ_{Ap} Buck	σ_{CRIT} Buck	
						Case	τ_{Ap} Buck	τ_{CRIT} Buck	

9 - Mamparo tanque MDO

9	11.00		11.00	10.00		ST235	1.000	1.000	100
1.00	10.00		9.85	72.41	131.22	16.21	LIQ 1-b		8.38
			4.28	75.84	175.00		a	-60.37	-75.07
			7.27	14.15	110.00		a	13.31	106.14

Local Rule Requirements - Strake

N°	tGActu.	tGRule tGRuleBuck				Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
CAdd	tNetActu.	tLoad	SigX1	ps	pw	Case	Tau1		
		tTest	σ_N Actu.	σ_N Rule		Case	σ_{Ap} Buck	σ_{CRIT} Buck	
		tMini	τ_N Actu.	τ_N Rule		Case	τ_{Ap} Buck	τ_{CRIT} Buck	

10 - Mamparo tanque MDO diario

10	8.00	7.00	6.00			ST235	0.600	1.000	100
1.00	7.00	3.74	54.81	26.15	12.54	LIQ 2-b	7.54		
		2.72	57.40	175.00		a	-36.89	-76.52	
		5.47	10.31	110.00		a	9.64	90.75	

Local Rule Requirements - Strake

N°	tGActu.	tGRule tGRuleBuck				Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
CAdd	tNetActu.	tLoad tTest tMini	SigX1 σ_N Actu. τ_N Actu.	ps σ_N Rule τ_N Rule	pw	Case	Tau1		
						Case	σ_{Ap} Buck	σ_{CRIT} Buck	
						Case	τ_{Ap} Buck	τ_{CRIT} Buck	

11 - Mamparo sala proyecciones

11	7.00		0.00	10.50		ST235	0.000	0.000	100
1.00	6.00		0.00						
			0.00	42.16	175.00	a	-40.25	-15.41	
			0.00	30.47	110.00	a	28.07	35.18	

Local Rule Requirements - Strake

N°	tGActu.	tGRule tGRuleBuck				Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
CAdd	tNetActu.	tLoad tTest tMini	SigX1 σ_N Actu. τ_N Actu.	ps σ_N Rule τ_N Rule	pw	Case	Tau1		
						Case	σ_{Ap} Buck	σ_{CRIT} Buck	
						Case	τ_{Ap} Buck	τ_{CRIT} Buck	

12 - Mamparo camarotes 1

12	6.00		0.00	18.50		ST235	0.000	0.000	100
1.00	5.00		0.00						
			0.00	91.94	175.00	a	-87.79	-7.23	
			0.00	10.47	110.00	a	6.08	24.43	

Local Rule Requirements - Strake

N°	tGActu.	tGRule tGRuleBuck				Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
CAdd	tNetActu.		tLoad	SigX1	ps	pw	Case		
			tTest	σ_N Actu.	σ_N Rule		Tau1		
			tMini	τ_N Actu.	τ_N Rule		Case	σ_{Ap} Buck	σ_{CRIT} Buck
							Case	τ_{Ap} Buck	τ_{CRIT} Buck

13 - Mamparo camarotes 2

13	6.00		0.00	18.50		ST235	0.000	0.000	100
1.00	5.00		0.00						
			0.00	91.94	175.00	a	-87.79	-7.23	
			0.00	14.41	110.00	a	9.84	24.43	

Local Rule Requirements - Strake

N°	tGActu.	tGRule tGRuleBuck				Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
CAdd	tNetActu.	tLoad	SigX1	ps	pw	Case	Tau1		
		tTest	σ_N Actu.	σ_N Rule		Case	σ_{Ap} Buck	σ_{CRIT} Buck	
		tMini	τ_N Actu.	τ_N Rule		Case	τ_{Ap} Buck	τ_{CRIT} Buck	

14 - Vagra central

14	12.00		9.50	10.00		ST235	0.000	0.000	100
1.00	11.00		0.00						
			0.00	75.84	175.00	a	-60.37	-90.83	
			0.00	6.24	110.00	a	4.53	101.43	

Local Rule Requirements - Strake

N°	tGActu.	tGRule tGRuleBuck				Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
CAdd	tNetActu.	tLoad tTest tMini	SigX1 σ_N Actu. τ_N Actu.	ps σ_N Rule τ_N Rule	pw	Case	Tau1		
						Case	σ_{Ap} Buck	σ_{CRIT} Buck	
						Case	τ_{Ap} Buck	τ_{CRIT} Buck	

15 - Doble fondo

15	8.00		7.00	7.00		ST235	0.700	1.000	100
1.25	6.75		5.75	41.06	6.85 62.34	SEA-c+	3.35		
			0.00	57.40	175.00	a	-45.69	-61.72	
			0.00	6.45	110.00	a	5.55	101.86	

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WGActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

1 - Quilla

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WGActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

2 - Fondo

2	93.79		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.300	1.000	100
	86.48		12.55	72.41	72.40	15.20	SEA-a1			
	12.61		1.02		72.40	15.20	SEA-a1			
0.50			202.72	63.66	72.40	15.20	SEA-a1			
							a		-60.37	-201.29
3	98.24		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.600	1.000	100
	90.60		20.67	72.41	72.40	15.20	SEA-a1			
	12.61		1.69		72.40	15.20	SEA-a1			
0.50			186.34	63.66	72.40	15.20	SEA-a1			
							a		-60.37	-199.39
4	98.24		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.600	1.000	100
	90.60		20.67	72.41	72.40	15.20	SEA-a1			
	12.61		1.69		72.40	15.20	SEA-a1			
0.50			186.34	63.66	72.40	15.20	SEA-a1			
							a		-60.37	-199.39
5	98.24		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.600	1.000	100
	90.60		20.67	72.41	72.40	15.20	SEA-a1			
	12.61		1.69		72.40	15.20	SEA-a1			
0.50			186.34	63.66	72.40	15.20	SEA-a1			
							a		-60.37	-199.39
6	96.96		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.475	1.000	100
	89.42		17.83	72.41	72.40	15.20	SEA-a1			
	12.61		1.45		72.40	15.20	SEA-a1			
0.50			193.07	63.66	72.40	15.20	SEA-a1			
							a		-60.37	-200.52
1	6229.92		1000.0	20.0	300.0	12.0	ST235	0.275	1.000	100
	5750.81		11.67	72.41	72.40	15.20	SEA-a1			
	190.21		0.95		72.40	15.20	SEA-a1			
0.50			224.67	63.66	72.40	15.20	SEA-a1			
							a		-60.37	-165.65
7	96.19		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.425	1.000	100
	85.43		15.25	60.24	72.31	15.21	SEA-a1			
	11.89		1.34		72.31	15.21	SEA-a1			
0.75			187.05	63.53	72.31	15.21	SEA-a1			
							a		-60.24	-200.49
8	98.54		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.650	1.000	100
	87.43		19.89	59.83	72.03	15.24	SEA-a1			
	11.89		1.76		72.03	15.29	SEA-c+			
0.75			184.82	63.09	72.03	15.24	SEA-a1			
							a		-59.83	-198.93

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

2 - Fondo

9	98.54		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.650	1.000	100
	87.43		19.78	59.42	71.75	15.27	SEA-a1			
	11.89		1.80		71.75	17.60	SEA-c+			
			185.06	62.66	71.75	15.27	SEA-a1			
0.75							a		-59.42	-198.93
10	98.54		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.650	1.000	100
	87.43		19.90	50.64	71.46	19.91	SEA-c+			
	11.89		1.85		71.46	19.91	SEA-c+			
			185.29	62.22	71.46	15.31	SEA-a1			
0.75							a		-59.00	-198.93
11	6146.63		880.0	20.0	300.0	12.0	ST235	0.650	1.000	100
	5521.71		20.38	50.76	70.90	22.25	SEA-c+			
	163.05		1.90		70.90	22.25	SEA-c+			
			200.01	61.36	70.90	15.37	SEA-a1			
0.75							a		-58.18	-173.64
12	95.47		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.404	1.000	100
	84.81		15.32	50.78	70.25	24.61	SEA-c+			
	11.89		1.43		70.25	24.61	SEA-c+			
			187.27	60.35	70.25	15.45	SEA-a1			
0.75							a		-57.23	-200.58

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

3 - Costado

1	95.71		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.475	1.000	100
	85.12		16.19	30.28	63.02	34.90	SEALIQ 1-c-			
	11.88		1.68		63.02	34.90	SEALIQ 1-c-			
			185.57	28.78	46.31	35.72	SEA-c+			
0.75							c		-26.95	-199.22
2	96.62		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.553	1.000	100
	85.88		17.66	21.76	64.07	36.65	SEALIQ 1-c-			
	11.88		1.91		64.07	36.65	SEALIQ 1-c-			
			183.23	21.48	64.07	36.65	SEALIQ 1-c-			
0.75							c		-19.85	-198.28
3	96.32		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.525	1.000	100
	88.94		11.62	10.50	31.17	38.67	SEA-c+			
	12.60		1.33		31.17	38.67	SEA-c+			
			192.69	11.82	31.17	38.67	SEA-c+			
0.50							c		-10.47	-198.61
4	97.48		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.650	1.000	100
	90.00		12.72	17.33	24.64	39.94	SEA-c+			
	12.60		1.41		24.64	39.94	SEA-c+			
			187.73	20.32	24.64	39.94	SEA-c+			
0.50							c		-18.73	-197.34
5	97.48		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.650	1.000	100
	90.00		12.28	24.48	18.10	41.26	SEA-c+			
	12.60		1.31		18.10	41.26	SEA-c+			
			188.94	29.15	18.10	41.26	SEA-c+			
0.50							c		-27.31	-197.34
6	96.03		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.500	1.000	100
	88.67		10.09	31.64	11.57	42.63	SEA-c+			
	12.60		1.04		11.57	42.63	SEA-c+			
			196.79	37.98	11.57	42.63	SEA-c+			
0.50							c		-35.89	-198.90
7	96.32		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.525	1.000	100
	88.94		9.91	39.89	4.02	44.25	SEA-c+			
	12.60		0.98		4.02	44.25	SEA-c+			
			202.35	49.88	4.02	25.55	SEA-a1			
0.50							a		-47.30	-198.61
8	97.48		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.650	1.000	100
	90.00		10.45	47.04	0.00	42.61	SEA-c+			
	12.60		0.99		0.00	42.61	SEA-c+			
			199.90	61.94	0.00	23.83	SEA-a1			
0.50							a		-58.74	-197.34

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WGActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

3 - Costado

9	97.48		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.650	1.000	100
	90.00		9.22	54.18	0.00	36.08	SEA-c+			
	12.60		0.84		0.00	36.08	SEA-c+			
			202.26	74.01	0.00	17.30	SEA-a1			
0.50							a		-70.18	-197.34

10	96.03		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.500	1.000	100
	88.67		6.73	61.33	0.00	29.54	SEA-c+			
	12.60		0.59		0.00	29.54	SEA-c+			
			207.77	86.08	0.00	12.33	SEA-a1			
0.50							a		-81.62	-198.90

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WGActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

4 - Cubierta superior

1	152.30		180.0	8.0	120.0	10.0	ST235	0.500	1.000	100
	140.05	6.92	64.72	6.85	24.03		SEA-c+			
	12.60	0.59		6.85	24.03		SEA-c+			
0.50		213.93	92.57	6.85	12.22		SEA-a1			
							a		-87.79	-192.44
2	154.07		180.0	8.0	120.0	10.0	ST235	0.600	1.000	100
	141.65	6.95	64.03	6.85	21.05		SEA-c+			
	12.60	0.60		6.85	21.05		SEA-c+			
0.50		212.30	92.57	6.85	12.22		SEA-a1			
							a		-87.79	-191.57
3	154.07		180.0	8.0	120.0	10.0	ST235	0.600	1.000	100
	141.65	6.15	63.35	6.85	18.07		SEA-c+			
	12.60	0.53		6.85	18.07		SEA-c+			
0.50		212.30	92.57	6.85	12.22		SEA-a1			
							a		-87.79	-191.57
4	154.07		180.0	8.0	120.0	10.0	ST235	0.600	1.000	100
	141.65	5.35	62.67	6.85	15.09		SEA-c+			
	12.60	0.46		6.85	15.09		SEA-c+			
0.50		212.30	92.57	6.85	12.22		SEA-a1			
							a		-87.79	-191.57
5	154.07		180.0	8.0	120.0	10.0	ST235	0.600	1.000	100
	141.65	4.93	73.18	6.85	12.22		SEA-a1			
	12.60	0.40		6.85	12.22		SEA-a1			
0.50		212.30	92.57	6.85	12.22		SEA-a1			
							a		-87.79	-191.57
6	154.07		180.0	8.0	120.0	10.0	ST235	0.600	1.000	100
	141.65	4.93	73.18	6.85	12.22		SEA-a1			
	12.60	0.40		6.85	12.22		SEA-a1			
0.50		212.30	92.57	6.85	12.22		SEA-a1			
							a		-87.79	-191.57
7	150.92		180.0	8.0	120.0	10.0	ST235	0.440	1.000	100
	138.81	4.03	73.18	6.85	12.22		SEA-a1			
	12.60	0.33		6.85	12.22		SEA-a1			
0.50		214.91	92.57	6.85	12.22		SEA-a1			
							a		-87.79	-193.09
8	151.41		180.0	8.0	120.0	10.0	ST235	0.460	1.000	100
	139.25	4.16	73.18	6.85	12.22		SEA-a1			
	12.60	0.34		6.85	12.22		SEA-a1			
0.50		214.58	92.57	6.85	12.22		SEA-a1			
							a		-87.79	-192.86

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WGActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

4 - Cubierta superior

9	150.92		180.0	8.0	120.0	10.0	ST235	0.440	1.000	100
	138.81	4.03	73.18	6.85	12.22		SEA-a1			
	12.60	0.33		6.85	12.22		SEA-a1			
0.50		214.91	92.57	6.85	12.22		SEA-a1			
							a		-87.79	-193.09
10	151.41		180.0	8.0	120.0	10.0	ST235	0.460	1.000	100
	139.25	4.16	73.18	6.85	12.22		SEA-a1			
	12.60	0.34		6.85	12.22		SEA-a1			
0.50		214.58	92.57	6.85	12.22		SEA-a1			
							a		-87.79	-192.86
11	154.07		180.0	8.0	120.0	10.0	ST235	0.600	1.000	100
	141.65	4.93	73.18	6.85	12.22		SEA-a1			
	12.60	0.40		6.85	12.22		SEA-a1			
0.50		212.30	92.57	6.85	12.22		SEA-a1			
							a		-87.79	-191.57
12	154.07		180.0	8.0	120.0	10.0	ST235	0.600	1.000	100
	141.65	4.93	73.18	6.85	12.22		SEA-a1			
	12.60	0.40		6.85	12.22		SEA-a1			
0.50		212.30	92.57	6.85	12.22		SEA-a1			
							a		-87.79	-191.57
13	154.07		180.0	8.0	120.0	10.0	ST235	0.600	1.000	100
	141.65	4.93	73.18	6.85	12.22		SEA-a1			
	12.60	0.40		6.85	12.22		SEA-a1			
0.50		212.30	92.57	6.85	12.22		SEA-a1			
							a		-87.79	-191.57
14	154.07		180.0	8.0	120.0	10.0	ST235	0.600	1.000	100
	141.65	4.93	73.18	6.85	12.22		SEA-a1			
	12.60	0.40		6.85	12.22		SEA-a1			
0.50		212.30	92.57	6.85	12.22		SEA-a1			
							a		-87.79	-191.57
15	150.92		180.0	8.0	120.0	10.0	ST235	0.440	1.000	100
	138.81	4.03	73.18	6.85	12.22		SEA-a1			
	12.60	0.33		6.85	12.22		SEA-a1			
0.50		214.91	92.57	6.85	12.22		SEA-a1			
							a		-87.79	-193.09

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

5 - Cubierta principal

1	110.37		160.0	8.0	0.0	0.0	ST235	0.500	1.000	100
	101.43	0.78	40.25	3.00	1.36		AccDeck-b			
	11.20	0.08		3.00	1.36		AccDeck-b			
0.50		188.98	42.45	3.00	1.36		AccDeck-b			
							a		-40.25	-187.88
2	111.82		160.0	8.0	0.0	0.0	ST235	0.600	1.000	100
	102.79	0.87	40.25	3.00	1.36		AccDeck-b			
	11.20	0.09		3.00	1.36		AccDeck-b			
0.50		169.95	42.45	3.00	1.36		AccDeck-b			
							a		-40.25	-187.12
3	111.82		160.0	8.0	0.0	0.0	ST235	0.600	1.000	100
	102.79	0.87	40.25	3.00	1.36		AccDeck-b			
	11.20	0.09		3.00	1.36		AccDeck-b			
0.50		169.95	42.45	3.00	1.36		AccDeck-b			
							a		-40.25	-187.12
4	111.82		160.0	8.0	0.0	0.0	ST235	0.600	1.000	100
	102.79	0.87	40.25	3.00	1.36		AccDeck-b			
	11.20	0.09		3.00	1.36		AccDeck-b			
0.50		169.95	42.45	3.00	1.36		AccDeck-b			
							a		-40.25	-187.12
5	111.82		160.0	8.0	0.0	0.0	ST235	0.600	1.000	100
	102.79	0.87	40.25	3.00	1.36		AccDeck-b			
	11.20	0.09		3.00	1.36		AccDeck-b			
0.50		169.95	42.45	3.00	1.36		AccDeck-b			
							a		-40.25	-187.12
6	111.82		160.0	8.0	0.0	0.0	ST235	0.600	1.000	100
	102.79	0.87	40.25	3.00	1.36		AccDeck-b			
	11.20	0.09		3.00	1.36		AccDeck-b			
0.50		169.95	42.45	3.00	1.36		AccDeck-b			
							a		-40.25	-187.12
7	109.25		160.0	8.0	0.0	0.0	ST235	0.440	1.000	100
	100.39	0.71	40.25	3.00	1.36		AccDeck-b			
	11.20	0.07		3.00	1.36		AccDeck-b			
0.50		197.22	42.45	3.00	1.36		AccDeck-b			
							a		-40.25	-188.47
8	109.65		160.0	8.0	0.0	0.0	ST235	0.460	1.000	100
	100.76	0.74	40.25	3.00	1.36		AccDeck-b			
	11.20	0.07		3.00	1.36		AccDeck-b			
0.50		194.93	42.45	3.00	1.36		AccDeck-b			
							a		-40.25	-188.26

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WGActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

5 - Cubierta principal

9	109.25		160.0	8.0	0.0	0.0	ST235	0.440	1.000	100
	100.39		0.71	40.25	3.00	1.36	AccDeck-b			
	11.20		0.07		3.00	1.36	AccDeck-b			
0.50			197.22	42.45	3.00	1.36	AccDeck-b			
							a		-40.25	-188.47
10	105.36		160.0	8.0	0.0	0.0	ST235	0.300	1.000	100
	96.77		0.53	40.25	3.00	1.36	AccDeck-b			
	11.20		0.05		3.00	1.36	AccDeck-b			
0.50			197.17	42.45	3.00	1.36	AccDeck-b			
							a		-40.25	-190.48
11	109.65		160.0	8.0	0.0	0.0	ST235	0.460	1.000	100
	100.76		0.74	40.25	3.00	1.36	AccDeck-b			
	11.20		0.07		3.00	1.36	AccDeck-b			
0.50			194.93	42.45	3.00	1.36	AccDeck-b			
							a		-40.25	-188.26
12	111.82		160.0	8.0	0.0	0.0	ST235	0.600	1.000	100
	102.79		0.87	40.25	3.00	1.36	AccDeck-b			
	11.20		0.09		3.00	1.36	AccDeck-b			
0.50			169.95	42.45	3.00	1.36	AccDeck-b			
							a		-40.25	-187.12
13	111.82		160.0	8.0	0.0	0.0	ST235	0.600	1.000	100
	102.79		0.87	40.25	3.00	1.36	AccDeck-b			
	11.20		0.09		3.00	1.36	AccDeck-b			
0.50			169.95	42.45	3.00	1.36	AccDeck-b			
							a		-40.25	-187.12
14	111.82		160.0	8.0	0.0	0.0	ST235	0.600	1.000	100
	102.79		0.87	40.25	3.00	1.36	AccDeck-b			
	11.20		0.09		3.00	1.36	AccDeck-b			
0.50			169.95	42.45	3.00	1.36	AccDeck-b			
							a		-40.25	-187.12
15	109.25		160.0	8.0	0.0	0.0	ST235	0.440	1.000	100
	100.39		0.71	40.25	3.00	1.36	AccDeck-b			
	11.20		0.07		3.00	1.36	AccDeck-b			
0.50			197.22	42.45	3.00	1.36	AccDeck-b			
							a		-40.25	-188.47

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

6 - Cubierta inferior

1	113.73		160.0	8.0	50.0	20.0	ST235	0.500	1.000	100
	100.51	17.19	15.32	100.00	13.18		LIQ 1-d+			
	10.39	1.92		100.00	13.18		LIQ 1-d+			
0.75		193.28	15.83	100.00	13.18		LIQ 1-d+			
							c		-14.41	-192.80
2	114.95		160.0	8.0	50.0	20.0	ST235	0.600	1.000	100
	101.53	18.88	14.63	100.00	11.64		LIQ 1-d+			
	10.39	2.12		100.00	11.64		LIQ 1-d+			
0.75		188.40	15.05	100.00	11.64		LIQ 1-d+			
							c		-13.72	-191.59
3	114.95		160.0	8.0	50.0	20.0	ST235	0.600	1.000	100
	101.53	18.52	13.95	100.00	10.11		LIQ 1-d+			
	10.39	2.08		100.00	10.11		LIQ 1-d+			
0.75		188.86	14.28	100.00	10.11		LIQ 1-d+			
							c		-13.04	-191.59
4	114.95		160.0	8.0	50.0	20.0	ST235	0.600	1.000	100
	101.53	18.15	13.26	100.00	8.57		LIQ 1-d+			
	10.39	2.05		100.00	8.57		LIQ 1-d+			
0.75		189.32	13.51	100.00	8.57		LIQ 1-d+			
							c		-12.36	-191.59
5	114.95		160.0	8.0	200.0	20.0	ST235	0.600	1.000	100
	101.53	17.82	12.58	100.00	7.16		LIQ 1-d-			
	10.39	2.02		100.00	7.16		LIQ 1-d-			
0.75		189.74	12.73	100.00	7.16		LIQ 1-d-			
							c		-11.67	-191.59
6	114.95		160.0	8.0	50.0	20.0	ST235	0.600	1.000	100
	101.53	18.06	11.89	100.00	8.70		LIQ 1-d-			
	10.39	2.05		100.00	8.70		LIQ 1-d-			
0.75		189.28	11.96	100.00	8.70		LIQ 1-d-			
							c		-10.99	-191.59
7	114.95		160.0	8.0	50.0	20.0	ST235	0.600	1.000	100
	101.53	18.31	11.21	100.00	10.23		LIQ 1-d-			
	10.39	2.09		100.00	10.23		LIQ 1-d-			
0.75		188.83	11.19	100.00	10.23		LIQ 1-d-			
							c		-10.30	-191.59
8	114.95		160.0	8.0	50.0	20.0	ST235	0.600	1.000	100
	101.53	18.55	10.53	100.00	11.77		LIQ 1-d-			
	10.39	2.12		100.00	11.77		LIQ 1-d-			
0.75		188.37	10.41	100.00	11.77		LIQ 1-d-			
							c		-9.62	-191.59

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WGActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

6 - Cubierta inferior

9	113.36		160.0	8.0	50.0	20.0	ST235	0.475	1.000	100
	100.20	16.20	9.84	100.00	13.30		LIQ 1-d-			
	10.39	1.86		100.00	13.30		LIQ 1-d-			
0.75		194.59	9.64	100.00	13.30		LIQ 1-d-			
							c		-8.94	-193.15
10	107.52		160.0	8.0	50.0	20.0	ST235	0.250	1.000	100
	95.29	0.82	9.16	3.37	5.27		LIQ 2-d+			
	10.39	0.09		3.37	5.27		LIQ 2-d+			
0.75		217.20	8.87	3.37	5.27		LIQ 2-d+			
							c		-8.25	-197.63
11	113.36		160.0	8.0	50.0	20.0	ST235	0.475	1.000	100
	100.20	1.09	8.47	3.37	3.73		LIQ 2-d+			
	10.39	0.13		3.37	3.73		LIQ 2-d+			
0.75		213.57	8.09	3.37	3.73		LIQ 2-d+			
							c		-7.57	-193.15
12	114.95		160.0	8.0	50.0	20.0	ST235	0.600	1.000	100
	101.53	1.26	7.79	3.37	3.73		LIQ 2-d-			
	10.39	0.15		3.37	3.73		LIQ 2-d-			
0.75		211.44	7.32	3.37	3.73		LIQ 2-d-			
							c		-6.88	-191.59
13	112.51		160.0	8.0	200.0	50.0	ST235	0.425	1.000	100
	99.49	1.24	7.11	3.37	5.27		LIQ 2-d-			
	10.39	0.14		3.37	5.27		LIQ 2-d-			
0.75		214.08	6.55	3.37	5.27		LIQ 2-d-			
							c		-6.20	-193.92
14	113.36		160.0	8.0	50.0	20.0	ST235	0.475	1.000	100
	104.25	1.06	6.07	5.00	2.27		AccDeck-b			
	11.21	0.12		5.00	2.27		AccDeck-b			
0.50		197.86	6.40	5.00	2.27		AccDeck-b			
							a		-6.07	-193.17
15	114.39		160.0	8.0	50.0	20.0	ST235	0.550	1.000	100
	105.20	1.17	6.07	5.00	2.27		AccDeck-b			
	11.21	0.14		5.00	2.27		AccDeck-b			
0.50		197.97	6.40	5.00	2.27		AccDeck-b			
							a		-6.07	-192.23

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WGActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

7 - Mamparo long

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

8 - Pantoque

1	101.14		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.700	1.000	100
	89.73		21.77	49.28	68.01	27.82	SEA-c+			
	11.89		2.04		68.01	27.82	SEA-c+			
			180.77	56.91	59.52	15.71	SEALIQ 1-a2			
0.75							a		-53.97	-200.70
2	101.14		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.700	1.000	100
	89.73		21.09	45.38	63.86	30.43	SEA-c+			
	11.89		2.02		63.86	30.43	SEA-c+			
			180.40	50.52	60.19	16.22	SEALIQ 1-a2			
0.75							a		-47.91	-200.70
3	101.14		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.700	1.000	100
	89.73		20.81	45.78	61.08	31.46	SEALIQ 1-c-			
	11.89		1.99		61.08	31.46	SEALIQ 1-c-			
			174.35	42.00	61.08	31.46	SEALIQ 1-c-			
0.75							a		-39.84	-200.70
4	99.11		140.0	10.0	0.0	0.0	ST235	0.463	1.000	100
	88.05		16.06	37.06	62.18	33.46	SEALIQ 1-c-			
	11.89		1.61		62.18	33.46	SEALIQ 1-c-			
			188.39	34.57	62.18	33.46	SEALIQ 1-c-			
0.75							c		-32.59	-201.55

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WGActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

9 - Mamparo tanque MDO

1	80.94		140.0	12.0	0.0	0.0	ST235	0.700	1.000	100
	70.18	22.32	18.67	105.91	13.37		LIQ 1-d-			
	14.67	2.46		105.91	13.37		LIQ 1-d-			
		152.93	17.11	105.91	13.37		LIQ 1-d-			
0.75							a		-16.34	-192.88
2	80.94		140.0	12.0	0.0	0.0	ST235	0.700	1.000	100
	70.18	24.30	27.90	111.81	12.54		LIQ 1-d-			
	14.67	2.56		111.81	12.54		LIQ 1-d-			
		153.80	28.07	111.81	7.41		LIQ 1-b			
0.75							a		-26.61	-192.88
3	80.61		140.0	12.0	0.0	0.0	ST235	0.650	1.000	100
	69.90	26.13	44.25	117.72	10.09		LIQ 1-b			
	14.67	2.56		117.72	11.71		LIQ 1-d-			
		154.68	38.90	117.72	10.09		LIQ 1-b			
0.75							a		-36.89	-193.10

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WGActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

10 - Mamparo tanque MDO diario

1	77.61		140.0	12.0	0.0	0.0	ST235	0.700	1.000	100
	67.18		2.79	16.05	9.28	5.11	LIQ 2-d-			
	14.67		0.31		9.28	5.11	LIQ 2-d-			
			196.87	17.23	9.28	4.89	LIQ 2-b			
0.75							a		-16.34	-189.62
2	77.61		140.0	12.0	0.0	0.0	ST235	0.700	1.000	100
	67.18		4.74	31.92	15.19	7.56	LIQ 2-b			
	14.67		0.49		15.19	7.56	LIQ 2-b			
			193.16	28.07	15.19	7.56	LIQ 2-b			
0.75							a		-26.61	-189.62
3	77.23		140.0	12.0	0.0	0.0	ST235	0.650	1.000	100
	66.85		6.72	44.25	21.09	10.24	LIQ 2-b			
	14.67		0.65		21.09	10.24	LIQ 2-b			
			191.36	38.90	21.09	10.24	LIQ 2-b			
0.75							a		-36.89	-189.85

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WGActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

11 - Mamparo sala proyecciones

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WGActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

12 - Mamparo camarotes 1

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WGActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

13 - Mamparo camarotes 2

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WGActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

14 - Vagra central

Local Rule Requirements - Stiffener

N°	WActu.		H ₁	E ₁	H ₂	E ₂	Mat	Spac	Span	Bend.Eff.
	WNetActu.	WNetRule	SigX1	ps	pw		Case			
	ANetActu.	ANetRule		ps	pw		Case			
		SigU	SigX1	ps	pw		Case			
CAdd	DFatActu.	DFatRule					Case		sigApBu	sigCritBu

15 - Doble fondo

1	108.10		160.0	7.0	0.0	0.0	ST235	0.700	1.000	100
	98.78		8.67	45.69	26.15	12.54	LIQ 2-b			
	9.61		0.83		26.15	12.54	LIQ 2-b			
			173.35	48.19	26.15	12.54	LIQ 2-b			
0.50							a		-45.69	-190.49
2	108.10		160.0	7.0	0.0	0.0	ST235	0.700	1.000	100
	98.78		8.67	45.69	26.15	12.54	LIQ 2-b			
	9.61		0.83		26.15	12.54	LIQ 2-b			
			173.35	48.19	26.15	12.54	LIQ 2-b			
0.50							a		-45.69	-190.49
3	105.66		160.0	7.0	0.0	0.0	ST235	0.450	1.000	100
	96.58		6.64	45.69	26.15	12.54	LIQ 2-b			
	9.61		0.64		26.15	12.54	LIQ 2-b			
			193.35	48.19	26.15	12.54	LIQ 2-b			
0.50							a		-45.69	-193.54
4	107.34		160.0	7.0	0.0	0.0	ST235	0.600	1.000	100
	98.10		16.33	41.86	6.85	65.82	SEA-c+			
	9.61		1.60		6.85	65.82	SEA-c+			
			207.64	48.19	6.85	12.49	SEA-a1			
0.50							a		-45.69	-191.52

Motions and Accelerations**Local breadth at waterline**

	Draught (m)	Local Breadth (m)
For Scantling draught	7.200	18.160
For Ballast draught	2.467	17.972

Coordinates of center of gravity

Comp n°	X _G (m)	Y _G (m)	Z _G (m)
1	45.000	6.070	1.998
2	45.000	2.350	2.350

Acceleration

Comp n°	Draught (m)	Upright ship condition			Inclined ship condition		
		a _{x1} ² (m/s ²)	a _{y1} ² (m/s ²)	a _{z1} ² (m/s ²)	a _{x2} ² (m/s ²)	a _{y2} ² (m/s ²)	a _{z2} ² (m/s ²)
1	7.200 Scantling	0.598	0.000	4.448	0.000	4.250	1.971
2	7.200 Scantling	0.642	0.000	4.448	0.000	4.272	1.906

Acceleration case c and d (including CFA)

Comp n°	Draught (m)	Inclined ship condition (case c)			Inclined ship condition (case d)		
		a _{x1} ² (m/s ²)	a _{y1} ² (m/s ²)	a _{z1} ² (m/s ²)	a _{x2} ² (m/s ²)	a _{y2} ² (m/s ²)	a _{z2} ² (m/s ²)
1	7.200 Scantling	0.000	2.975	1.380	0.000	4.250	1.971
2	7.200 Scantling	0.000	2.990	1.334	0.000	4.272	1.906

Total Acceleration

Comp n°	Draught (m)		Case c			Case d		
			a _{TY} ² (m/s ²)	a _{TZ} ² (m/s ²)	Φ (rad)	a _{TY} ² (m/s ²)	a _{TZ} ² (m/s ²)	Φ (rad)
1	7.200 Scantling	(+)	2.082	-10.776	-0.191	2.975	-11.190	-0.260
		(-)	-2.082	-8.844	0.231	-2.975	-8.430	0.339
2	7.200 Scantling	(+)	2.093	-10.744	-0.192	2.990	-11.144	-0.262
		(-)	-2.093	-8.876	0.232	-2.990	-8.476	0.339

Highest points in the direction of total acceleration

Comp n°	Draught (m)	Case c		Case d		
		Y _H (m)	Z _H (m)	Y _H (m)	Z _H (m)	
1	7.200 Scantling	(+)	3.500	3.700	3.500	3.700
		(-)	9.050	3.700	9.050	3.700
2	7.200 Scantling	(+)	1.200	3.700	1.200	3.700
		(-)	3.500	3.700	3.500	3.700



PROYECTO Nº 252

BUQUE OCEANOGRÁFICO

DE 7.000 T

Cuaderno 11

Pesos y centro de gravedad del buque en rosca

TUTOR: ELOY J. CARRILLO HONTORIA

ALUMNO: ALEJANDRO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
1.	INTRODUCCIÓN	6
2.	PESO DEL ACERO	7
2.1.	PESO LONGITUDINAL CONTINUO	7
2.2.	PESO TRANSVERSAL CONTINUO	9
2.3.	PESOS LOCALES	12
2.3.1.	MAMPAROS TRANSVERSALES	12
2.3.2.	SUPERESTRUCTURA Y CASTILLO	13
2.3.3.	PIQUES	14
2.3.4.	GUARDACALOR	14
2.3.5.	AMURADA	15
2.4.	RESUMEN ACERO	15
3.	PESO DE LA MAQUINARIA	16
3.1.	GRUPOS GENERADORES PRINCIPALES	16
3.2.	GRUPO GENERADOR DE EMERGENCIA	17
3.3.	PROPULSORES PRINCIPALES	17
3.4.	PROPULSOR SECUNDARIO	18
3.5.	PROPULSORES TRANSVERSALES DE PROA	19
3.6.	SISTEMAS AUXILIARES	19
3.7.	RESUMEN MAQUINARIA	21
4.	PESO DE LOS EQUIPOS	22
4.1.	FONDEO Y AMARRE	22
4.2.	EQUIPOS DE NAVEGACIÓN	22
4.3.	EQUIPOS DE SALVAMENTO	23
4.4.	EQUIPO DE CONTRAINCENDIOS	23
4.5.	EQUIPOS DE SENTINAS	23
4.6.	EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO	24
4.7.	EQUIPOS DE CUBIERTA	25
4.8.	PROTECCIÓN ANTICORROSIÓN	26
4.9.	RESUMEN EQUIPOS	27



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
5.	PESO DE LA HABILITACIÓN	28
6.	RESUMEN	30
7.	CONCLUSIONES.....	31
8.	BIBLIOGRAFÍA	32



INDICE DE FIGURAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Figura 1. Distribución peso longitudinal continuo	9
	Figura 2. Distribución peso transversal continuo.....	11
	Figura 3. Distribución peso continuo total.....	11



INDICE DE TABLAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Tabla 1. Peso longitudinal continuo	8
	Tabla 2. Peso transversal continuo	10
	Tabla 3. Peso mamparos transversales	13
	Tabla 4. Peso superestructuras	14
	Tabla 5. Peso piques.....	14
	Tabla 6. Peso guardacalor	14
	Tabla 7. Resumen peso acero	15
	Tabla 8. Peso generadores principales.....	17
	Tabla 9. Peso generadores emergencia	17
	Tabla 10. Peso propulsor principal.....	18
	Tabla 11. Peso propulsor secundario	18
	Tabla 12. Peso propulsor secundario	19
	Tabla 13. Peso serv. aux. CCMM	20
	Tabla 14. Resumen peso maquinaria	21
	Tabla 15. Peso fondeo y amarre	22
	Tabla 16. Peso equipo salvamento.....	23
	Tabla 17. Peso sistema de sentinas.....	24
	Tabla 18. Áreas habilitación	24
	Tabla 19. Peso sobre cubierta	25
	Tabla 20. Peso protección anticorrosión.....	26
	Tabla 21. Resumen peso equipos.....	27
	Tabla 22. Peso habilitación.....	29
	Tabla 23. Resumen peso en rosca y c. de g.	30
	Tabla 24. Comparativa peso en rosca	31



1. INTRODUCCIÓN

Se va a estimar a lo largo de este cuaderno el peso en rosca del buque, si bien ha de tenerse en cuenta que este es un valor muy difícil de estimar con exactitud, entre otras cosas por la falta de información necesaria de ciertos sistemas y dispositivos.

Se comparará posteriormente el peso obtenido con el que se estimó inicialmente a partir de buques similares, para comprobar que el resultado no dista mucho de la realidad.

Además del peso en rosca del buque va a estudiarse la posición del centro de gravedad, parámetro de gran importancia para poder estudiar en el cuaderno siguiente la estabilidad del buque en diferentes situaciones.



2. PESO DEL ACERO

Para el cálculo del peso del acero se utilizará el método de D.S. Aldwinckle, especificado en la referencia [2], donde se especifica que deben calcularse tres pesos diferentes:

- Peso longitudinal continuo en t/m
- Peso transversal continuo en t/m
- Pesos locales

Se calculará la posición longitudinal y altura del centro de gravedad, considerándose la posición en el eje y coincidente con crujía, debido a la simetría de los pesos del acero.

Se hace notar además que solo va a tenerse en cuenta para estos cálculos los elementos que se encuentran comprendidos entre la línea de base y la cubierta superior estanca.

2.1. PESO LONGITUDINAL CONTINUO

Lo primero que debe hacerse es calcular el peso de todos los elementos longitudinales de la sección media, obtenido de acuerdo a lo estudiado en el cuaderno 10, incluyendo refuerzos, chapas y mamparos, para ello, se obtuvo del software MARS 2000, el área total neta de los elementos longitudinales pertenecientes a la sección maestra, dicho área se multiplica por la densidad del acero y se obtiene así el peso por unidad de longitud de los elementos longitudinales continuos de dicha sección maestra.

$$W_l = A_{long} \cdot \rho_{acero} = 1,5211 \cdot 7,85 = 11,94 \frac{t}{m}$$

Una vez obtenido el peso total longitudinal por unidad de distancia $W_l(CM)$, se calcula dicho peso para cada cuaderna de acuerdo a la siguiente expresión:

$$W_l(i) = G(i) \cdot W_l(CM) \cdot s$$

Donde $G(i)$ es el cociente del perímetro de la sección “i” entre el perímetro de la sección maestra.

Como la distancia entre secciones $s=4$ metros es constante, se multiplica directamente para el caso de la sección maestra, en vez de multiplicarlo cada vez para cada sección, con lo que el resultado total es el definitivo, sin necesidad de proceder a la integración posteriormente.

Cabe destacar que las cuadernas serán las mismas que se definieron en el plano de formas del buque, entre la cuaderna 0 y la perpendicular de proa.



Peso longitudinal continuo									
Zona	Cuaderna	P(i) (m)	ZG(i) (m)	G(i)	Wl(i) (t)	XG(i) (m)	Wl(i)·XG(i) (t·m)	KG(i) (m)	Wl(i)·KG(i) (t·m)
Popa	0	36.21	8.14	0.698	33.3	0	0.0	6.68	222.6
	AP	37.76	7.86	0.727	34.7	4.73	164.4	6.45	224.1
	1	40.23	7.26	0.775	37.0	8.73	323.3	5.96	220.6
	2	43.41	6.49	0.836	39.9	12.74	508.7	5.33	212.8
	3	46.34	5.81	0.893	42.6	16.74	713.6	4.77	203.3
	4	48.59	5.31	0.936	44.7	20.74	927.2	4.36	194.8
	5	49.91	5.02	0.961	45.9	24.74	1136.2	4.12	189.2
Central	6	50.68	4.86	0.976	46.6	28.74	1340.3	3.99	186.0
	7	51.22	4.78	0.987	47.1	32.75	1543.2	3.92	184.9
	8	51.63	4.73	0.995	47.5	36.75	1745.7	3.88	184.4
	9	51.9	4.69	1.000	47.8	40.75	1945.9	3.85	183.8
	MS	51.91	4.67	1.000	47.8	44.75	2137.4	3.83	183.1
	11	51.58	4.68	0.994	47.5	48.75	2313.8	3.84	182.3
	12	50.84	4.72	0.979	46.8	52.76	2467.8	3.87	181.2
	13	49.48	4.78	0.953	45.5	56.76	2584.0	3.92	178.6
	14	46.95	4.88	0.904	43.2	60.76	2624.7	4.01	173.0
Proa	15	42.81	5.05	0.825	39.4	64.76	2550.9	4.14	163.3
	16	38	5.26	0.732	35.0	68.76	2404.2	4.32	150.9
	17	33.3	5.53	0.641	30.6	72.77	2229.5	4.54	139.1
	18	28.93	5.86	0.557	26.6	76.77	2043.4	4.81	128.0
	19	22.09	6.51	0.426	20.3	80.77	1641.6	5.34	108.6
	FP	4.85	8.4	0.093	4.5	84.77	378.3	6.89	30.8
Total					854.4		33723.9		3825.5

Peso longitudinal	
Wl	854.43
XG	39.47
KG	4.48

Tabla 1. Peso longitudinal continuo

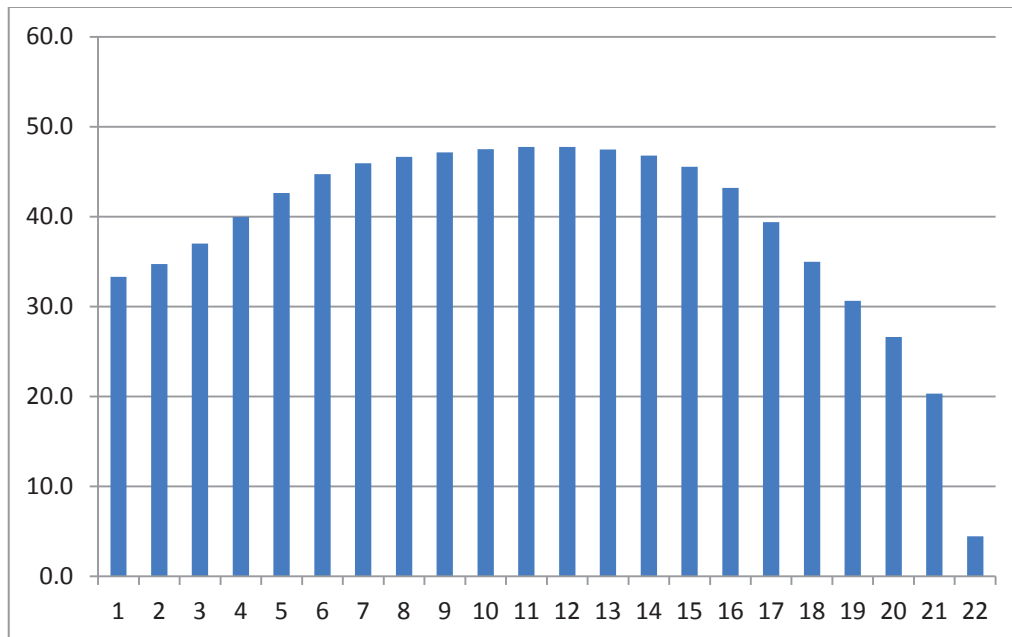


Figura 1. Distribución peso longitudinal continuo

2.2. PESO TRANSVERSAL CONTINUO

En este caso, y nuevamente de acuerdo con lo estipulado en el cuaderno 10, deberán calcularse el peso total de los elementos transversales que componen la sección media por unidad de longitud, para ello en este caso se multiplica el volumen total de los refuerzos por la densidad del acero y se divide por la distancia entre bulárcamas.

$$W_l = \frac{V_{trans} \cdot \rho_{acero}}{s} = \frac{1,845 \cdot 7,85}{2,4} = 6,03 \frac{t}{m}$$

Una vez obtenido el peso total transversal $W_t(CM)$, se calcula dicho peso para cada cuaderna de acuerdo a la siguiente expresión:

$$W_l(i) = Q(i) \cdot W_t(CM)$$



Donde $Q(i)$ es el cociente del área de la sección “i” entre el área de la sección maestra.

Peso transversal continuo									
Zona	Cuaderna	$A(i) (m^2)$	$ZG(i) (m)$	$Q(i)$	$Wt(i) (t)$	$XG(i) (m)$	$Wt(i) \cdot XG(i) (t \cdot m)$	$KG(i) (m)$	$Wt(i) \cdot KG(i) (t \cdot m)$
Popa	0	30.75	8.14	0.1930	4.659	0	0.000	6.68	31.12885904
	AP	41.35	7.86	0.2596	6.265	4.73	29.642	6.45	40.41957455
	1	62.9	7.26	0.3948	9.531	8.73	83.231	5.96	56.79118674
	2	91.81	6.49	0.5763	13.911	12.74	177.158	5.33	74.10173253
	3	117.01	5.81	0.7345	17.729	16.74	296.737	4.77	84.54594634
	4	135.77	5.31	0.8522	20.572	20.74	426.642	4.36	89.65861318
	5	146.82	5.02	0.9216	22.246	24.74	550.395	4.12	91.66058291
Central	6	152.67	4.86	0.9583	21.976	28.74	631.657	3.99	87.66116904
	7	155.87	4.78	0.9784	22.437	32.75	734.688	3.92	88.02534081
	8	157.91	4.73	0.9912	22.730	36.75	835.270	3.88	88.24458347
	9	159.6	4.69	1.0018	22.974	40.75	936.149	3.85	88.43476232
	MS	159.31	4.67	1.0000	22.932	44.75	1080.233	3.83	92.52382875
	11	160.31	4.68	1.0063	23.076	48.75	1125.012	3.84	88.63877602
	12	156.11	4.72	0.9799	22.471	52.76	1185.468	3.87	87.05425547
	13	149.62	4.78	0.9392	21.537	56.76	1222.375	3.92	84.4957432
Proa	14	136.76	4.88	0.8585	19.686	60.76	1196.093	4.01	78.84900137
	15	115.04	5.05	0.7221	19.174	64.76	1241.729	4.14	79.47428222
	16	89.72	5.26	0.5632	14.954	68.76	1028.273	4.32	64.55968046
	17	65.5	5.53	0.4111	10.917	72.77	794.380	4.54	49.55104231
	18	42.08	5.86	0.2641	7.014	76.77	538.412	4.81	33.73336848
	19	18.37	6.51	0.1153	3.062	80.77	247.297	5.34	16.35974417
Total	FP	1.05	8.4	0.0066	0.175	84.77	14.835	6.89	1.206576738
					350.027		14375.676		1497.11865

Peso transversal	
Wt	350.03
XG	41.07
KG	4.28

Tabla 2. Peso transversal continuo

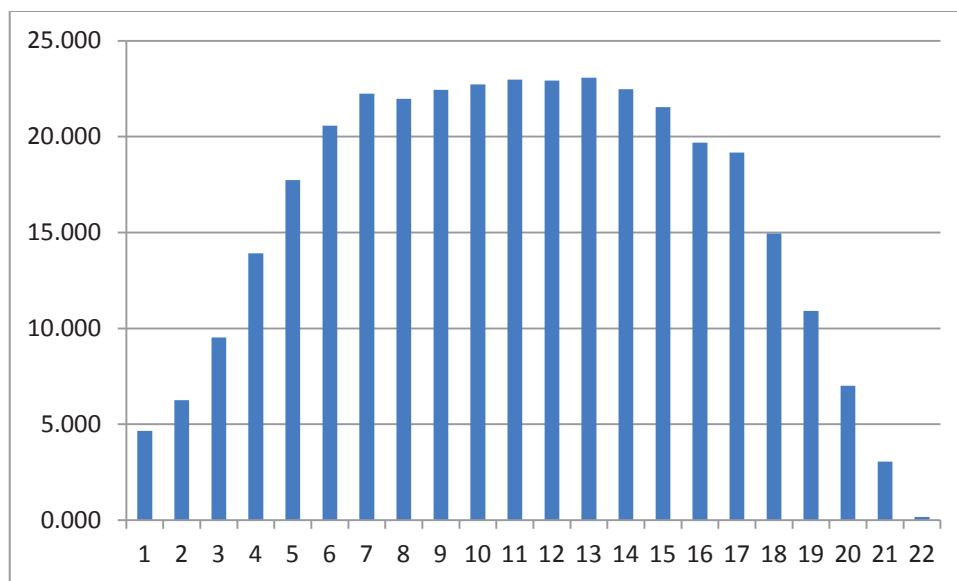


Figura 2. Distribución peso transversal continuo

El resumen de ambos pesos estructurales a lo largo de la eslora resulta el de la gráfica siguiente, donde la contribución al peso longitudinal está en rojo y la transversal en azul:

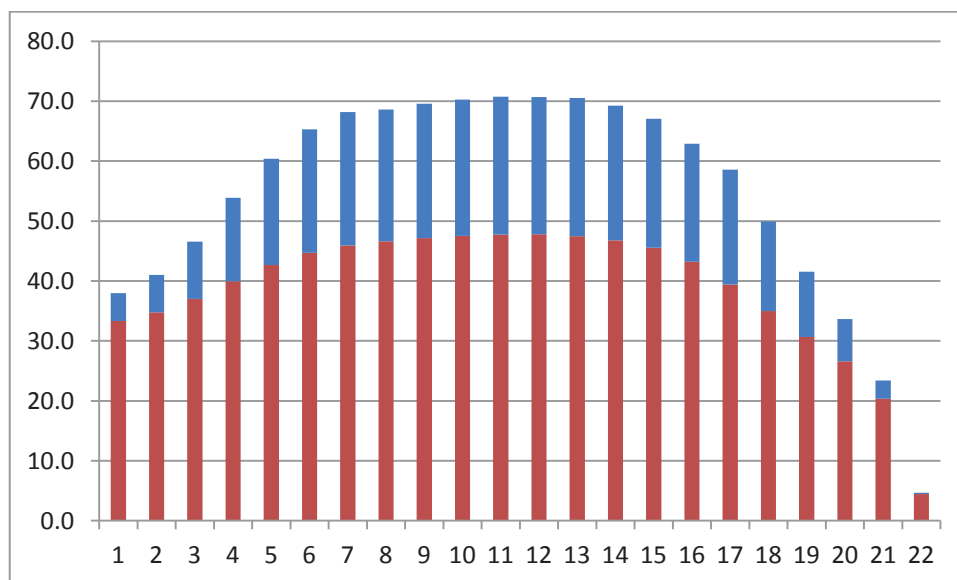


Figura 3. Distribución peso continuo total



2.3. PESOS LOCALES

Aparte de los pesos debidos a la estructura continua del buque, existen otros pesos estructurales que deben tenerse en cuenta.

2.3.1. MAMPAROS TRANSVERSALES

Para el cálculo de peso de los mamparos del buque se tendrán en cuenta tanto los mamparos estancos como los de separación de tanques o compartimentos, que correspondan a las zonas interiores del buque desde el pique de popa hasta el pique de proa, sin incluirles. Los mamparos no se incluyen pues en el estudio de las secciones del cuaderno 10 se han tenido en cuenta para la resistencia estructural, y se considera su distribución a lo largo del buque notablemente similar.

En el caso de los camarotes del personal científico distribuidos en la cubierta principal se ha tomado, para simplificar la tabla, el valor suma de todos los mamparos de dichos camarotes.

Peso mamparos transversales								
Zona	Mamparo	t (mm)	A (m ²)	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
Estancos	Popa motor ppal	0.008	38.88	2.442	3.0	7.325	7.90	19.28915
	Proa motor ppal	0.008	86.45	5.429	12.6	68.406	6.42	34.85457
	Popa motor secundario	0.008	131.31	8.246	19.8	163.276	5.43	44.77724
	Popa CCMM	0.008	153.4	9.634	30.0	289.006	4.82	46.43357
	Proa CCMM	0.008	159.92	10.043	45.6	457.960	4.67	46.9007
	Proa motores transv.	0.008	26.78	1.682	73.8	124.116	5.60	9.41799
Tanques	Pp MDO CCMM Er	0.008	4	0.251	26.4	6.632	0.50	0.1256
	Pp MDO CCMM Br	0.008	4	0.251	26.4	6.632	0.50	0.1256
	Pr MDO CCMM Er	0.008	4.7	0.295	39	11.511	0.50	0.14758
	Pr MDO CCMM Br	0.008	4.7	0.295	39	11.511	0.50	0.14758
	Pp MDO proa	0.008	13.8	0.867	51.6	44.719	0.50	0.43332
	Pp cofferdam	0.008	6.87	0.431	61.8	26.663	0.50	0.215718
	Pr cofferdam	0.008	6.45	0.405	62.4	25.276	0.50	0.20253
	Pr MDO diario Er	0.008	2.44	0.153	43.8	6.712	1.85	0.283479
	Pr MDO diario Br	0.008	2.44	0.153	43.8	6.712	1.85	0.283479
	Otros	0.008	16	1.005	36.0	36.173	0.50	0.5024
Continuos	Popa quilla retr.	0.008	32.76	2.057	49.8	102.455	4.55	9.360842
	Proa quilla retr.	0.008	32.76	2.057	53.4	109.861	4.55	9.360842
	Popa caja cad.	0.008	38.69	2.430	75.6	183.692	6.40	15.55069
	Proa caja cad.	0.008	26.54	1.667	78.6	131.008	6.40	10.66736
Cub. DF	Popa local servic. electr.	0.008	18.79	1.180	56.4	66.560	2.35	2.773323
	Popa taller	0.008	18.14	1.139	56.4	64.265	2.35	2.677692



	Proa taller	0.008	13.93	0.875	61.2	53.546	2.35	2.056085
Cub. inf.	Popa lab. Multi.	0.008	22.14	1.390	24.0	33.369	5.05	7.02148
	Proa lab. Quim.	0.008	19.71	1.238	36.0	44.560	5.05	6.250829
	Proa biblioteca	0.008	19.71	1.238	40.8	50.502	5.05	6.250829
	Proa lab. Bio.	0.008	19.71	1.238	40.8	50.502	5.05	6.250829
	Proa centro cálculo	0.008	19.71	1.238	48.6	60.156	5.05	6.250829
	Proa sala proy.	0.008	16.20	1.017	51.6	52.496	5.05	5.137668
	Proa sala control	0.008	15.93	1.000	53.4	53.422	5.05	5.05204
	Proa gimnasio	0.008	14.31	0.899	58.2	52.302	5.05	4.538273
	Popa incineradora	0.008	16.20	1.017	60.0	61.042	5.05	5.137668
	Proa incineradora	0.008	10.80	0.678	66.6	45.171	5.05	3.425112
	Proa vestuarios	0.008	12.15	0.763	61.8	47.155	5.05	3.853251
	Proa sauna	0.008	8.37	0.526	66.0	34.692	5.05	2.654462
Cub. Ppal	Camarotes	0.008	196.80	12.359	35.4	437.510	7.75	95.78256
Total				77.589		3026.893		414.1931

Peso mamparos T	
Wmamp	77.59
XG	39.01
KG	5.34

Tabla 3. Peso mamparos transversales

2.3.2. SUPERESTRUCTURA Y CASTILLO

Se estimará el peso estructural de la superestructura y el castillo de proa en función del volumen de la misma, multiplicándolo por un peso específico concreto para cada cubierta de la superestructura, que dependerá de dicho volumen. Los valores de dichos pesos específicos se tomarán de la referencia [2], y como centro de gravedad, el centroide del volumen.

Peso superestructura							
Cubierta	V (m ³)	di (t/m ³)	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
Superior	1843.56	0.05	92.178	52.8	4866.998	10.45	963.2601
Tripulación	1201.23	0.05	60.062	60.0	3603.690	13.15	789.8087
Oficiales A	1021.68	0.052	53.127	59.4	3155.765	15.85	842.0687
Oficiales B	712.26	0.062	44.160	62.4	2755.591	18.55	819.1702
Puente	910	0.058	52.780	57.6	3040.128	21.65	1142.687
Generador emergencia	308.61	0.092	28.392	63.6	1805.739	24.75	702.705
Castillo	193.05	0.086	16.602	63.6	1055.906	10.45	173.494
Total			347.3014		20283.818		5433.194



Peso superestructura	
Wse	347.30
XG	58.40
KG	15.64

Tabla 4. Peso superestructuras

2.3.3. PIQUES

Para la estimación de pesos de los piques se emplea la siguiente formulación:

$$P_{GC} = V_{pique} \cdot d_i$$

Tomando como $d_i=70 \text{ kg/m}^3$, y sus centros de gravedad correspondientes como el centroide del volumen, resultando:

Peso piques							
Pique	V (m ³)	di (t/m ³)	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
Popa	10.7	0.07	0.749	-3.1	-2.284	6.96	5.21304
Proa	48.5	0.07	3.395	75.6	256.696	5.08	17.2466
Total			4.144		254.412		22.45964

Peso piques	
Wp	4.14
XG	61.39
KG	5.42

Tabla 5. Peso piques

2.3.4. GUARDACALOR

Para el peso de cada guarda calor, se empleará, de acuerdo a la referencia mencionada, un valor de densidad $d_i=59 \text{ kg/m}^3$ de acuerdo a la referencia [2]:

Y conociendo el volumen de los dos elementos podrá estimarse su peso:

$$P_{GC} = n \cdot V_{GC} \cdot d_i = 2 \cdot 158,2 \cdot 59 = 18.668 \text{ kg} = 18,7 \text{ t}$$

Con centro de gravedad tomado en el centroide del volumen:

Peso guardacalor	
Wgc	18.7
XG	39
KG	15.45

Tabla 6. Peso guardacalor



2.3.5. AMURADA

Para calcular el peso de la amurada deberá sumarse la longitud total de la misma a lo largo del buque, en ambas bandas, incluyendo tanto en la cubierta de trabajo como en el castillo de proa, obteniendo una longitud de amurada total $L_{Am}=100,5$ metros.

Para un buque de 80 metros de eslora, sin reforzado para cubierta se tomará un valor de densidad $d_i=81 \text{ kg/m}^3$ conque el peso será:

$$P_{Am} = L_{Am} \cdot d_i = 100,5 \cdot 81 = 8140,5 \text{ kg} = 8,14 \text{ t}$$

2.4. RESUMEN ACERO

Teniendo en cuenta todos los datos previamente calculados se puede estimar el peso estructural total perteneciente al acero del buque, al que se le añadirá un 8% de peso debido a soldadura y laminación:

Peso acero					
Elemento	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
Longitudinal continuo	854.43	39.5	33723.9	4.48	3825.5
Transversal continuo	350.03	41.1	14375.7	4.28	1497.1
Mamparos transversales	77.59	39.0	3026.9	5.34	414.2
Superestructura	347.30	58.4	20283.8	15.64	5433.2
Piques	4.14	61.4	254.4	5.42	22.5
Guardacalor	18.70	39.0	729.3	15.45	288.9
Amurada	8.14	27.0	219.8	9.80	79.8
Soldadura y laminación	166.03	40.8	6774.1	6.41	1064.3
Total	1826.36		79387.96		12625.43

Peso acero	
Wacero	1826.36
XG	43.47
KG	6.91

Tabla 7. Resumen peso acero



3. PESO DE LA MAQUINARIA

Para el peso de la maquinaria se van a emplear principalmente los datos suministrados por los diferentes fabricantes, a excepción de aquellos datos de los que no se disponga y se estimen mediante otros métodos que se consideren válidos, indicándose en tal caso.

3.1. GRUPOS GENERADORES PRINCIPALES

Se tendrá en cuenta el peso de los grupos generadores principales, dados por el fabricante, y el de los polines de apoyo, estimados mediante la ref. [2] a partir de la expresión siguiente:

$$W_{polines\ GGSS} = N_{ae} \cdot P_{kVA} \cdot \frac{4,5}{RPMA}$$

Donde:

- N_{ae} , es el número de grupos generadores, 6 grupos generadores
- P_{kVA} , la potencia en kVA de cada generador, 1000 kVA
- $RPMA$, las revoluciones por minuto de los motores generadores, 1500 RPM

Entonces:

$$W_{polines\ GGSS} = 6 \cdot 1000 \cdot \frac{4,5}{1500} = 18\ t$$

Como el peso de los grupos generadores, de acuerdo al fabricante es de 7,6 toneladas cada uno, el resultado será:

Peso generadores principales					
Elemento	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
GS 1	7.60	30.0	228.0	1.8	13.8
GS 2	7.60	30.0	228.0	1.8	13.8
GS 3	7.60	36.6	278.2	1.8	13.8
GS 4	7.60	30.0	228.0	1.8	13.8
GS 5	7.60	30.0	228.0	1.8	13.8
GS 6	7.60	36.6	278.2	1.8	13.8
Polines	18.00	32.2	579.6	1.1	19.8
Total	63.60		2047.9		102.3



Peso generadores principales	
W GS ppales	63.60
XG	32.20
KG	1.61

Tabla 8. Peso generadores principales

3.2. GRUPO GENERADOR DE EMERGENCIA

Procedemos de igual manera para el cálculo del polín:

$$W_{polines\ GGSS} = 1 \cdot 700 \cdot \frac{4,5}{1500} = 2,1\ t$$

Peso generador emergencia					
Elemento	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
GS emergencia	4.40	58.8	258.7	24.2	106.5
Polín	2.10	58.8	123.5	23.5	49.4
Total	6.50		382.2		155.8

Peso generador emergencia	
W GS emergencia	6.50
XG	58.80
KG	23.97

Tabla 9. Peso generadores emergencia

3.3. PROPULSORES PRINCIPALES

Dentro de la partida de pesos de los propulsores principales deberán tenerse en cuenta el peso de los motores eléctricos, los polines que soportan dichos motores y el sistema propulsor SRP instalado.

$$W_{polin\ motor} = (a + b) \cdot \frac{NMO}{1000} \cdot \frac{Bkw}{0,736}$$

Donde:

- BkW es la potencia nominal del motor, 560 kW
- $a = 0,00135 \cdot \left(\frac{BkW}{1000}\right)^{\frac{1}{2}} - 0,071 \cdot \frac{BkW}{1000} + 2,07 = 2,03$
- b = -0,5
- NMO, el número de motores



Entonces:

$$W_{polines\ MMPP} = (2,03 - 0,5) \cdot \frac{2}{1000} \cdot \frac{560}{0,736} = 2,33\ t$$

Peso propulsores principales					
Elemento	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
MMPP	6.40	3.0	19.2	6.5	41.6
Polines MMPP	2.33	3.0	7.0	5.8	13.5
SRP Br + Er	10.30	0.0	0.0	5.5	56.7
Total	19.03		26.2		111.8

Peso propulsor principal	
W prop ppales	19.03
XG	1.38
KG	5.87

Tabla 10. Peso propulsor principal

3.4. PROPULSOR SECUNDARIO

Igual que en el punto anterior se tendrá en cuenta además del peso del motor, el peso del polín de dicho motor y del sistema propulsor SPJ.

$$a = 0,00135 \cdot \left(\frac{2300}{1000}\right)^{\frac{1}{2}} - 0,071 \cdot \frac{2300}{1000} + 2,07 = 1,91$$

$$W_{polin\ MS} = (1,91 - 0,5) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{2300}{0,736} = 4,41\ t$$

Peso propulsor secundario					
Elemento	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
MS	13.40	17.1	229.1	2.5	33.5
Polin MS	4.41	17.1	75.4	1.3	5.6
SPJ	40.50	22.2	899.1	1.8	71.3
Total	58.31		1203.7		110.4

Peso propulsor secundario	
W prop sec	58.31
XG	20.64
KG	1.89

Tabla 11. Peso propulsor secundario



3.5. PROPULSORES TRANSVERSALES DE PROA

Se procede de igual manera, con la salvedad de que en este caso no se instalarán polines en los motores, que se disponen en posición vertical.

Peso propulsores transversales					
Elemento	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
Prop Tr. 1	9.40	66.0	620.4	2.0	18.8
Prop Tr. 2	9.40	69.0	648.6	2.0	18.8
Motor Prop Tr. 1	4.40	66.0	290.4	3.8	16.7
Motor Prop Tr. 2	4.40	69.0	303.6	3.8	16.7
Total	23.20		1559.4		54.3

Peso propulsor secundario	
W prop sec	23.20
XG	67.22
KG	2.34

Tabla 12. Peso propulsor secundario

3.6. SISTEMAS AUXILIARES

Se incluyen a continuación los pesos de los diferentes equipos auxiliares de la cámara de máquinas, excluyendo aunque se encuentren en dicho local, los sistemas definidos en el cuaderno de equipos y servicios, tales como bombas de descarga o de sentinas.

Servicios auxiliares CCMM					
Elemento	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
Bomba trasiego	0.352	40.5	14.3	1.2	0.4
Purificadora MDO	0.502	33.6	16.9	1.2	0.6
Bomba lodos	0.174	35.1	6.1	1.2	0.2
Bomba aceite	0.346	37.5	13.0	1.2	0.4
Bomba prelubricacion	0.348	40.5	14.1	1.2	0.4
Precalentador de aceite	0.040	37.8	1.5	1.2	0.0
Purificadora aceite	0.251	35.4	8.9	1.2	0.3
Bomba ref. AS	1.592	34.8	55.4	1.2	1.8
Bomba hidráulica	0.346	25.5	8.8	1.2	0.4
Bomba ref. AD generadores	0.356	35.7	12.7	1.2	0.4
Bomba ref. AD MMPP	0.696	-0.3	-0.2	1.2	0.8
Bomba ref. AD MS	0.700	15.6	10.9	1.2	0.8



Intercambiador calor 1	0.120	32.4	3.9	1.2	0.1
Intercambiador calor 2	0.170	33.3	5.7	1.2	0.2
Intercambiador calor 3	1.272	34.2	43.5	1.2	1.5
Compresor aire g. ppales	0.360	39.6	14.3	1.2	0.4
Compresor aire g. emergencia	0.120	63.6	7.6	23.6	2.8
Compresor aire eq. sec.	0.120	38.4	4.6	1.2	0.1
Ventiladores admisión CCMM	0.820	39.6	32.5	3.7	3.0
Ventiladores extracción CCMM	0.820	26.4	21.6	3.7	3.0
Ventiladores admisión local emerg.	0.165	64.2	10.6	25.7	4.2
Ventiladores extracción local emerg.	0.165	53.4	8.8	25.7	4.2
Ventiladores admisión eq. elec.	0.031	62.4	1.9	3.7	0.1
Ventiladores extracción eq. elec.	0.031	52.2	1.6	3.7	0.1
Cuadro principal	0.3	57	17.1	2.2	0.7
Cuadro secundario	0.25	58.2	14.6	2.2	0.6
Cuadro emergencia	0.2	61.8	12.4	2.2	0.4
Transformadores	0.84	53.4	44.9	1.8	1.5
Total	11.49		407.83		29.68

Peso servicios auxiliares CCMM	
W serv. aux. CCMM	11.49
XG	35.50
KG	2.58

Tabla 13. Peso serv. aux. CCMM



3.7. RESUMEN MAQUINARIA

Teniendo en cuenta todos los datos previamente calculados se puede estimar el peso total perteneciente a la maquinaria y servicios auxiliares de la misma del buque:

Peso maquinaria					
Elemento	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
Generadores principales	63.60	32.2	2047.9	1.61	102.3
Generador emergencia	6.50	58.8	382.2	23.97	155.8
Propulsores principales	19.03	1.4	26.2	5.87	111.8
Propulsor secundario	58.31	20.6	1203.7	1.89	110.4
Propulsores transversales	23.20	67.2	1559.4	2.34	54.3
Serv. aux. CCMM	11.49	35.5	407.8	2.58	29.7
Total	182.13		5627.2		564.4

Peso maquinaria	
W maq	182.13
XG	30.90
KG	3.10

Tabla 14. Resumen peso maquinaria



4. PESO DE LOS EQUIPOS

Se procede ahora a calcular, en base a los equipos elegidos en cuadernos anteriores, el peso de dichos equipos a bordo y su centro de gravedad.

4.1. FONDEO Y AMARRE

El peso de los equipos de fondeo y amarre se calculará de acuerdo a lo definido en el cuaderno 8 de equipos y servicios.

Peso fondeo y amarre					
Elemento	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
Anclas	9.18	74.4	683.0	10.0	91.8
Cadenas	49.50	72.0	3564.0	6.4	316.8
Bitas	0.48	41.0	19.7	10.2	4.9
Molinetes	22.00	72.0	1584.0	9.4	206.8
Total	81.16		5850.7		620.3

Peso fondeo y amarre	
W fya	81.16
XG	72.09
KG	7.64

Tabla 15. Peso fondeo y amarre

4.2. EQUIPOS DE NAVEGACIÓN

De acuerdo a la referencia [2], el peso de los equipos que integran este concepto varía notablemente, según la complejidad y calidad de los sistemas dispuestos, siendo una acotación normal del valor de este peso entre 2 y 20 toneladas, y un valor estándar para buques mercantes 5 toneladas.

Como en el presente proyecto se requieren sistemas avanzados se va a tomar un peso de 12 toneladas para este concepto, con centro de gravedad en el centro del puente de mando.



4.3. EQUIPOS DE SALVAMENTO

El cálculo del peso del equipo de salvamento se ha realizado de acuerdo a los sistemas y dispositivos elegidos en el cuaderno 8, así como a valores orientativos de la referencia.

Peso equipo salvamento					
Elemento	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
Balsas salvavidas	0.44	57.6	25.3	15.9	7.0
Botes rescate	5.69	45.0	256.1	14.5	82.5
Pescantes	6.00	45.0	270.0	14.8	88.8
Otros	0.63	41.4	26.1	15.2	9.6
Total	12.76		577.48		187.88

Peso equipo salvamento	
W eq sa	12.76
XG	45.26
KG	14.72

Tabla 16. Peso equipo salvamento

4.4. EQUIPO DE CONTRAINCENDIOS

Para el peso del equipo contraincendios se empleará la expresión siguiente de la referencia habitual:

$$WI = 0,0025 \cdot V_{CCMM} + 1 = 0,0025 \cdot 768,93 + 1 = 2,92 \text{ t}$$

Se tomará su centro de gravedad como el centro del volumen de la cámara de máquinas.

4.5. EQUIPOS DE SENTINAS

Todos los datos empleados ya han sido previamente justificados en el cuaderno 8 de equipos y servicios.



Peso sistema de sentinas					
Elemento	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
Bomba de sentinas	0.19	38.7	7.5	1.2	0.2
Separadora de sentinas	0.74	36.0	26.5	1.5	1.1
Bomba auxiliar de la separadora	0.17	36.6	6.4	1.2	0.2
Total	1.10		40.3		1.5

Peso sistema de sentinas	
W si se	1.10
XG	36.57
KG	1.39

Tabla 17. Peso sistema de sentinas

4.6. EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

El peso de todo el sistema de aire acondicionado y ventilación del buque (a excepción de los locales de la cámara de máquinas y auxiliares), se estimarán como el 4% de la superficie total de habilitación:

Área habilitación	
Local	Área (m ²)
Camarotes	1155.5
Aseos comunes	90.3
Espacios comunes	339.4
Hospital y enfermería	33.9
Lavandería	23.6
Cocina	96.1
Oficinas	85.9
Gimnasio	35.4
Vestuarios	15.8
Laboratorios	242.9
Pañoles	78.1
Local CO ₂	12.25
Puente	267.8
Local hélice proa	71.83
Pasillos	1002.94

Tabla 18. Áreas habilitación

Lo que da un peso total de 142,1 toneladas, con centro de gravedad en el centro de gravedad estimado del buque.



4.7. EQUIPOS DE CUBIERTA

Los pesos de los equipos sobre cubierta se estimaron en el cuaderno 8 de equipos y servicios, a excepción del material para trincar los cuatro contenedores sobre cubierta, que se estimará de acuerdo a la referencia [2] con la expresión siguiente:

$$W_{lsh} = 0,04 \cdot (N_{TEU \text{ en cubierta}} + N_{TEU \text{ en bodega}}) = 0,04 \cdot (4 + 0) = 0,16 \text{ t}$$

Tampoco se conoce el peso de la escotilla superior del hangar, en este caso el peso se estimará de acuerdo a la expresión dada en la referencia:

$$W_{Hi} = A_H \cdot \frac{(0,595 \cdot B_H^2 + 120)}{1000}$$

Siendo A_H el área del hueco de la escotilla y B_H su manga.

$$W_{Hi} = 24,61 \cdot \frac{(0,595 \cdot 4,6^2 + 120)}{1000} = 3,26 \text{ t}$$

Peso sobre cubierta					
Elemento	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
Grúas 15t Br	37.04	22.2	822.3	12.5	461.9
Grúas 15t Er	37.04	-1.8	-66.7	12.5	461.9
Grúas 3t Br	15.04	-1.8	-27.1	12.3	184.7
Grúas 3t Er	15.04	22.2	333.9	12.3	184.7
Grúa telescópica	4.00	31.8	127.2	13.1	52.3
Pórtico popa	95.00	-3.0	-285.0	13.6	1293.9
Maquinilla y tambor	7.30	6.9	50.4	9.7	70.8
Trincado TEUs	0.16	10.5	1.7	9.1	1.5
Escotilla hangar	3.26	33	107.6	11.8	38.5
Total	213.88		1064.3		2750.1

Peso sobre cubierta	
W sob cub	213.88
XG	4.98
KG	12.86

Tabla 19. Peso sobre cubierta



4.8. PROTECCIÓN ANTICORROSIÓN

Se incluirá en este apartado tanto la pintura del buque como la protección catódica. Para ambos conceptos se empleará la formulación descrita en la referencia [2].

a) Pintura del buque

Se puede estimar para valores de peso estructural del buque inferiores a 2000 t como un 0,8% de dicho peso, es decir:

$$W_{ish} = 0,008 \cdot WST = 0,008 \cdot 1606 = 12,85 \text{ t}$$

b) Protección catódica

Para la protección catódica se tomará como tipo de ánodos: ánodos de zinc con una duración estimada de 2 años, siendo la formulación entonces:

$$W_{CC} = 0,0008 \cdot S_{mojada} = 0,0008 \cdot 2002,5 = 1,6 \text{ t}$$

A continuación se resumen los valores obtenidos, tomando los centros de gravedad como el centro de gravedad de la pintura el centro de gravedad calculado para el acero, y en el caso de la superficie mojada el centro de gravedad de obra viva del buque:

Peso protección anticorrosión					
Elemento	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
Pintura	12.85	40.8	524.0	6.4	82.3
Protección catódica	1.60	37.2	59.6	4.1	6.6
Total	14.45		583.6		88.9

Peso protección anticorrosión	
W ac	14.45
XG	40.39
KG	6.15

Tabla 20. Peso protección anticorrosión



4.9. RESUMEN EQUIPOS

Teniendo en cuenta todos los datos previamente calculados se puede estimar el peso total perteneciente a los equipos a bordo del buque:

Peso equipos					
Elemento	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
Fondeo y amarre	81.16	72.1	5850.7	7.64	620.3
Navegación	12.00	57.6	691.2	21.65	259.8
Salvamento	12.76	45.3	577.5	14.72	187.9
Contra incendios	2.92	34.0	99.3	2.62	7.7
Sentinas	1.10	36.6	40.3	1.39	1.5
Aire acondicionado	142.07	40.0	5682.8	5.80	824.0
Sobre cubierta	213.88	5.0	1064.3	12.86	2750.1
Protección anticorrosión	16.21	42.8	694.7	6.63	107.6
Total	482.10		14700.7		4758.8

Peso equipos	
W eq	482.10
XG	30.49
KG	9.87

Tabla 21. Resumen peso equipos



5. PESO DE LA HABILITACIÓN

Para el peso de la habilitación se va a emplear el método de las densidades superficiales, donde se multiplica el área de cada local por una densidad superficial que depende del tipo de compartimento que sea, habiéndose tomado los valores dentro de las acotaciones dadas en la referencia [2].

Peso habilitación							
Local	Valor (t/m ²)	Área(m ²)	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
Camarote oficiales Cub. B	0.135	200.9	27.12	59.1	1602.88	18.01	488.46
Camarote oficiales Cub. A	0.135	153.95	20.78	62.4	1296.87	15.31	318.19
Camarote tripulación	0.16	178.78	28.60	52.8	1510.33	12.61	360.71
Camarote científicos	0.16	630.5	100.88	31.8	3207.98	7.21	727.34
Comedor oficiales	0.12	37.91	4.55	67.2	305.71	12.61	57.37
Comedor tripulación	0.12	24.18	2.90	67.25	195.13	9.91	28.75
Comedor científicos	0.12	83.4	10.01	57.73	577.76	9.91	99.18
Salon descanso oficiales	0.13	36.5	4.75	50.3	238.67	15.31	72.65
Salon descanso tripulación	0.13	33.5	4.36	67	291.79	12.61	54.92
Salon descanso científicos	0.13	90.4	11.75	65.3	767.41	7.21	84.73
Pasillo cub. ofic. B	0.08	46.59	3.73	54.15	201.83	18.01	67.13
Pasillo cub. ofic. A	0.08	144.6	11.57	49.47	572.27	15.31	177.11
Pasillo cub. trip.	0.08	109.93	8.79	52.89	465.14	12.61	110.90
Pasillo cub. sup.	0.08	22.94	1.84	63.03	115.67	9.91	18.19
Pasillo cub. científ.	0.08	233.06	18.64	30.43	567.36	7.21	134.43
Pasillo cub. inf.	0.08	273.96	21.92	38.32	839.85	4.51	98.84
Pasillo cub. DF	0.08	91.01	7.28	50.46	367.39	1.81	13.18
Hangar	0.1	404	40.40	42.2	1704.88	10.18	411.27
Aseo público	0.215	99.14	21.32	47.4	1010.34	9.4	200.36
Cocina	0.2	35.24	7.05	66.88	471.37	9.91	69.85
Gambuza seca	0.06	32.4	1.94	59.4	115.47	9.91	19.27
Gambuza frigorífica	0.19	27.9	5.30	59.6	315.94	9.91	52.53
Pañoles	0.06	69.4	4.16	15.71	65.42	9.2	38.31
Lavandería	0.15	23.6	3.54	56.7	200.72	12.61	44.64
Local confinamiento	0.14	22.4	3.14	8.94	28.04	4.51	14.14
Hospital	0.18	34.23	6.16	41	252.62	12.61	77.70
Gimnasio, vestuarios, sauna	0.17	60.3	10.25	53.1	544.33	4.51	46.23
Oficinas, salas reuniones, etc	0.14	217.1	30.39	33.35	1013.64	6.94	210.93
Laboratorios	0.16	218.9	35.02	30.7	1075.24	5.86	205.24
Total			458.15		19922.04		4302.54



Peso habilitación	
W hab	458.15
XG	43.48
KG	9.39

Tabla 22. Peso habilitación



6. RESUMEN

Finalmente, se resume a continuación los diferentes pesos calculados y su centro de gravedad, para obtener el peso en rosca del buque así como la situación de su centro de gravedad. Se ha añadido un margen del 7% por soldadura y otros equipos como piezas adicionales de los equipos y estructura no tenidos en cuenta (tuberías, bridas, tornillos, etc).

También se añade un margen de error del 6% sobre el peso calculado debido a defectos o diferencias de la teoría respecto de la realidad, de acuerdo a la experiencia observada en construcciones reales de buques.

Peso en rosca					
Peso	W (t)	XG (m)	W·XG (t·m)	KG (m)	W·KG (t·m)
Acero	1826.36	43.5	79388.0	6.9	12625.4
Maquinaria	182.13	30.9	5627.2	3.1	564.4
Equipos	482.10	30.5	14700.7	9.9	4758.8
Habilitación	467.13	43.5	20304.7	9.3	4336.5
Soldadura y otros (7%)	219.46	40.6	8911.3	7.5	1653.4
Margen error (6%)	194.62	-	-	-	-
Total	3549.27		128931.9		23938.5

Peso en rosca	
W R	3549.27
XG	40.58
KG	7.53

Tabla 23. Resumen peso en rosca y c. de g.



7. CONCLUSIONES

Se han calculado a lo largo de este cuaderno las diferentes partidas peso en rosca del buque, divididas en cuatro secciones, la referente al peso estructural del acero, en base a la estructura que se calculó en el cuaderno 10, el peso de la maquinaria en base a lo que se ha calculado en los cuadernos 6 y 7, el peso de los equipos, en base a los datos obtenidos de los cuadernos 7 y 8, y finalmente el peso de habilitación, de acuerdo a las áreas de los compartimentos definidas en el cuaderno 4.

Una vez obtenido el peso en rosca total se puede comparar con el que se calculó en el cuaderno 2 de dimensionamiento inicial para observar la desviación obtenida:

Peso en rosca (t)		
Inicial	Obtenido	Diferencia
3537.3	3549.27	0.34%

Tabla 24. Comparativa peso en rosca

Es decir una diferencia inferior al 1%, con lo que se puede considerar el resultado como esperado.



8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MEIZOSO FERNÁNDEZ, MANUEL; ALVARIÑO CASTRO, RICARDO; AZPÍROZ AZPÍROZ, JUAN JOSÉ. *“El Proyecto Básico del Buque Mercante”*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval, 1997
- [2] MEIZOSO FERNÁNDEZ, MANUEL; GARCÍA GARCÉS, JOSE LUIS. *“Desplazamiento, cálculo iterativo del peso en rosca y peso muerto”*. ETSIN, 2000
- [3] MELO DOS SANTOS, CARLOS ALBERTO. *“Optimização estrutural de um navio graneleiro”*. Universidade Federal Rio de Janeiro, 1981



PROYECTO Nº 252

BUQUE OCEANOGRÁFICO

DE 7.000 T

Cuaderno 12

Situaciones de carga y resistencia longitudinal

TUTOR: ELOY J. CARRILLO HONTORIA

ALUMNO: ALEJANDRO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ



INDICE DE CONTENIDOS

Capítulo	Descripción	Página
1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	DEFINICIÓN DE SITUACIONES DE CARGA.....	6
2.1.	SALIDA DE PUERTO 100 % CONSUMOS	6
2.2.	LLEGADA A PUERTO 10% CONSUMOS	7
2.3.	SITUACIÓN INTERMEDIA	8
3.	CRITERIOS APLICABLES	9
3.1.	PUNTOS DE INUNDACIÓN PROGRESIVA.....	9
3.2.	ESTABILIDAD INTACTA.....	9
3.2.1.	CRITERIOS OMI	9
3.2.2.	CRITERIO DE VIENTO SEVERO Y BALANCE	9
3.3.	ESTABILIDAD EN AVERÍAS	12
4.	ESTABILIDAD ESTÁTICA Y DINÁMICA DEL BUQUE INTACTO	16
4.1.	SALIDA DE PUERTO 100 % DE CONSUMOS	17
4.2.	LLEGADA A PUERTO 10% DE CONSUMOS.....	20
4.3.	SITUACIÓN INTERMEDIA	23
5.	ESTABILIDAD EN AVERÍAS	26
6.	RESISTENCIA LONGITUDINAL	31
6.1.	SALIDA DE PUERTO 100 % DE CONSUMOS	32
6.2.	LLEGADA A PUERTO 10% DE CONSUMOS.....	34
6.3.	SITUACIÓN INTERMEDIA	36
7.	PARÁMETRO DE ESCAPE MEDIO DE HIDROCARBUROS	38
8.	CONCLUSIONES.....	40
9.	BIBLIOGRAFÍA	41



INDICE DE FIGURAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Figura 1. Criterio de viento severo y balance.....	10
	Figura 2. Brazos escorantes, salida de puerto.....	18
	Figura 3. Brazos escorantes, llegada a puerto	21
	Figura 4. Brazos escorantes, situación intermedia	24
	Figura 5. Compartimentado para método probabilista	26
	Figura 6. Resistencia longitudinal, salida puerto	32
	Figura 7. Esfuerzo cortante, salida puerto	33
	Figura 8. Momento flector, salida puerto	33
	Figura 9. Resistencia longitudinal, llegada puerto	34
	Figura 10. Esfuerzo cortante, llegada puerto	35
	Figura 11. Momento flector, llegada puerto.....	35
	Figura 12. Resistencia longitudinal, situación intermedia	36
	Figura 13. Esfuerzo cortante, situación intermedia	37
	Figura 14. Momento flector, situación intermedia	37



INDICE DE TABLAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Tabla 1. Capacidad y c. de g. tanques, salida puerto	6
	Tabla 2. Capacidad y c. de g. tanques, llegada puerto	7
	Tabla 3. Capacidad y c. de g. tanques, situación intermedia	8
	Tabla 4. Puntos de inundación progresiva	9
	Tabla 5. Valor k	11
	Tabla 6. Valor X1	11
	Tabla 7. Valor X2	12
	Tabla 8. Valor s	12
	Tabla 9. Tabla hidrostáticas, salida puerto	17
	Tabla 10. Criterios estabilidad intacta, salida puerto	18
	Tabla 11. Criterio vientos, salida puerto	19
	Tabla 12. Tabla hidrostáticas, llegada puerto	20
	Tabla 13. Criterios estabilidad intacta, llegada puerto	21
	Tabla 14. Criterios viento, llegada a puerto	22
	Tabla 15. Tabla hidrostáticas, situación intermedia	23
	Tabla 16. Criterios estabilidad intacta, situación intermedia	24
	Tabla 17. Criterio vientos, situación intermedia	25
	Tabla 18. Salida puerto 100 % consumos (Estribor)	27
	Tabla 19. Situación intermedia (Estribor)	28
	Tabla 20. Llegada puerto 10 % consumos (Estribor)	29
	Tabla 21. Resultados método probabilista	30
	Tabla 22. Parámetro de escape medio, costado	39
	Tabla 23. Parámetro de escape medio, fondo	39
	Tabla 24. Parámetro de escape medio, total	39



1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de este cuaderno se va a estudiar la estabilidad del buque para comprobar si cumple los criterios mínimos exigidos tanto estabilidad intacta como estabilidad en averías.

Lo primero que se hará será definir las diferentes situaciones de carga en que el buque se encontrará durante su operación.

Se aplicarán además aquellos criterios que la normativa considere necesarios para este caso. Entre otros, se estudiará el parámetro medio de escape de hidrocarburos, que depende de la compartimentación de los tanques y se necesita para buques con más de 600 m³ de combustible que esté situado sobre el fondo y costado del buque.

Se estudiará también la resistencia longitudinal para las diferentes situaciones de carga definidas, a fin de comprobar que la distribución de cargas no genera esfuerzos ni momentos excesivos en el buque.



2. DEFINICIÓN DE SITUACIONES DE CARGA

Se van a considerar diferentes situaciones de carga en las que debe estudiarse la estabilidad del buque, estas serán en principio la condición de mayor calado, al salir de puerto con todos los consumos y al volver, con una décima parte de los consumos.

Adicionalmente se va añadir una situación de carga intermedia entre ambas situaciones.

2.1. SALIDA DE PUERTO 100 % CONSUMOS

Corresponde al momento en que el buque sale de puerto hacia una misión, con toda la tripulación a bordo y la carga necesaria para el viaje, incluyendo víveres y provisiones para todo el viaje.

Los tanques de consumibles se consideran completamente llenos, y los de residuos y desechos completamente vacíos.

Capacidad y c. de g. de tanques "Salida puerto"						
Tanque	Porcentaje llenado	Volumen m ³	Peso t	LCG m	TCG m	VCG m
MDO Popa Br	100%	65.35	54.894	12.522	-3.38	2.925
MDO Popa Er	100%	65.35	54.894	12.522	3.38	2.925
MDO Pp Br	100%	135.608	113.91	20.53	-5.875	2.363
MDO Pp Er	100%	135.608	113.91	20.53	5.875	2.363
MDO Br	100%	185.546	155.859	46.035	-5.942	2.037
MDO Med	100%	20.453	17.18	50.098	0	0.513
MDO CCMM Er	100%	38.599	32.423	33.425	5.567	0.633
MDO CCMM Br	100%	38.599	32.423	33.425	-5.567	0.633
MDO Er	100%	185.546	155.859	46.035	5.942	2.037
MDO Proa	100%	81.74	68.662	55.579	0	0.578
MDO diario Br	100%	20.25	17.01	42.3	-2.25	2.35
MDO diario Er	100%	20.25	17.01	42.3	2.25	2.35
AD Br	100%	15.737	15.737	65.502	-0.963	0.622
AD Er	100%	15.737	15.737	65.502	0.963	0.622
Aguas grises	0%	0	0	38.976	-0.004	0.037
Aguas negras	0%	0	0	34.786	-1.533	0.112
Sentinas	0%	0	0	38.986	1.914	0.053
Lodos	0%	0	0	36.59	1.913	0.087
Reboses	0%	0	0	34.786	2.332	0.122
Lube oil	100%	1.147	1.056	31.802	2.912	0.591
Aceite sucio	0%	0	0	31.193	2.332	0.18
Lastre proa	0%	0	0	73.945	0	0.135

Tabla 1. Capacidad y c. de g. tanques, salida puerto



2.2. LLEGADA A PUERTO 10% CONSUMOS

En esta situación se consideran los tanques de consumibles, así como las provisiones a bordo al 10% de sus capacidades iniciales. Además los tanques de residuos y desechos se definen al 90% de su capacidad total.

Adicionalmente, para disminuir el trimado por popa, se ha llenado completamente el tanque de lastre del pique de proa.

Capacidad y c. de g. de tanques "Llegada a puerto"						
Tanque	Porcentaje llenado	Volumen m ³	Peso t	LCG m	TCG m	VCG m
MDO Popa Br	10%	6.535	5.489	13.951	-2.352	1.858
MDO Popa Er	10%	6.535	5.489	13.951	2.352	1.858
MDO Pp Br	10%	13.561	11.391	22.342	-5.193	0.907
MDO Pp Er	10%	13.561	11.391	22.342	5.193	0.907
MDO Br	10%	18.555	15.586	45.773	-5.17	0.377
MDO Med	10%	2.045	1.718	50.083	0	0.073
MDO CCMM Er	10%	3.86	3.242	35.294	4.888	0.239
MDO CCMM Br	10%	3.86	3.242	35.294	-4.888	0.239
MDO Er	10%	18.555	15.586	45.773	5.17	0.377
MDO Proa	10%	8.174	6.866	55.434	0	0.116
MDO diario Br	10%	2.025	1.701	42.3	-2.25	1.135
MDO diario Er	10%	2.025	1.701	42.3	2.25	1.135
AD Br	10%	1.574	1.574	64.752	-0.504	0.172
AD Er	10%	1.574	1.574	64.752	0.504	0.172
Aguas grises	90%	12.146	12.146	36.927	-1.738	0.495
Aguas negras	90%	3.636	3.636	33.611	-2.508	0.53
Sentinas	90%	3.17	2.916	37.809	2.702	0.492
Lodos	90%	2.289	2.106	35.706	2.702	0.511
Reboses	90%	2.144	1.972	33.611	2.912	0.533
Lube oil	10%	0.115	0.106	31.824	2.887	0.223
Aceite sucio	90%	1.01	0.929	30.602	2.911	0.561
Lastre proa	100%	54.281	55.638	75.598	0	5.297

Tabla 2. Capacidad y c. de g. tanques, llegada puerto



2.3. SITUACIÓN INTERMEDIA

La última situación a evaluar será la correspondiente a una navegación intermedia, con un porcentaje del combustible diésel consumido y la mitad de los tanques de desechos llenos, además de un porcentaje de las provisiones gastadas.

No se añade lastre pues la situación presenta un trimado nulo.

Capacidad y c. de g. de tanques "Situación intermedia"						
Tanque	Porcentaje llenado	Volumen m ³	Peso t	LCG m	TCG m	VCg m
MDO Popa Br	10%	6.535	5.489	13.951	-2.352	1.858
MDO Popa Er	10%	6.535	5.489	13.951	2.352	1.858
MDO Pp Br	80%	108.486	91.128	20.623	-5.805	2.091
MDO Pp Er	80%	108.486	91.128	20.623	5.805	2.091
MDO Br	100%	185.546	155.859	46.035	-5.942	2.037
MDO Med	100%	20.453	17.18	50.098	0	0.513
MDO CCMM Er	100%	38.599	32.423	33.425	5.567	0.633
MDO CCMM Br	100%	38.599	32.423	33.425	-5.567	0.633
MDO Er	100%	185.546	155.859	46.035	5.942	2.037
MDO Proa	100%	81.74	68.662	55.579	0	0.578
MDO diario Br	50%	10.125	8.505	42.3	-2.25	1.675
MDO diario Er	50%	10.125	8.505	42.3	2.25	1.675
AD Br	60%	9.442	9.442	65.394	-0.829	0.458
AD Er	60%	9.442	9.442	65.394	0.829	0.458
Aguas grises	50%	6.748	6.748	36.949	-1.728	0.311
Aguas negras	50%	2.02	2.02	33.619	-2.503	0.359
Sentinas	50%	1.761	1.62	37.815	2.7	0.308
Lodos	50%	1.272	1.17	35.711	2.699	0.333
Reboses	50%	1.191	1.096	33.62	2.91	0.364
Lube oil	50%	0.574	0.528	31.805	2.909	0.387
Aceite sucio	50%	0.561	0.516	30.604	2.909	0.401
Lastre proa	0%	0	0	73.945	0	0.135

Tabla 3. Capacidad y c. de g. tanques, situación intermedia



3. CRITERIOS APLICABLES

Se aplicarán los criterios mínimos estipulados por la OMI, así como los definidos en el Bureau Veritas, parte B, capítulo 3.

3.1. PUNTOS DE INUNDACIÓN PROGRESIVA

Los puntos de inundación progresiva se definieron en el cuaderno 5 como la puerta de entrada al hangar los escobenes de babor y estribor, cuyas coordenadas son:

Puntos inundación progresiva			
Punto inundación progresiva	X	Y	Z
Puerta hangar	28.8	1.5	9.1
Escobén Br	75	-2.2	9.6
Escobén Er	75	2.2	9.6

Tabla 4. Puntos de inundación progresiva

3.2. ESTABILIDAD INTACTA

3.2.1. CRITERIOS OMI

Quedan definidos en el Bureau Veritas, parte B, capítulo 3, sección 2 los siguientes criterios a cumplir:

- Área bajo la curva GZ no inferior a 0,055 m·rad para un ángulo de 30º de escora
- Área bajo la curva GZ no inferior a 0,09 m·rad para un ángulo de 40º de escora
- Área bajo la curva GZ no inferior a 0,03 m·rad para ángulos entre 30º y 40º de escora
- El valor de GZ para ángulos de escora superiores a 30º será de al menos 0,2 m
- El valor máximo de GZ se dará para un ángulo de escora superior a 25º y preferiblemente superior a 30º
- El valor de la altura metacéntrica transversal GMt será superior a 0,15 m

En cualquier caso, si el ángulo de inundación progresiva es inferior a 40º, se tomará este en vez de 40º para los criterios.

3.2.2. CRITERIO DE VIENTO SEVERO Y BALANCE

En el artículo 3 del mismo reglamento se especifica otro criterio a tener en cuenta, el criterio por viento severo y balance (weather criterion), que asume lo siguiente:

- El buque está sujeto a presión de viento constante actuando perpendicularmente sobre el centro del barco, resultando un momento de escora “lw1”
- A partir del ángulo de equilibrio resultante θ_0 se asume que el buque escorará hasta un ángulo θ_1 hacia barlovento
- El barco estará luego sujeto a una presión de viento que genera en él un nuevo momento de escora “lw2”
- Se contará el efecto por superficies libres

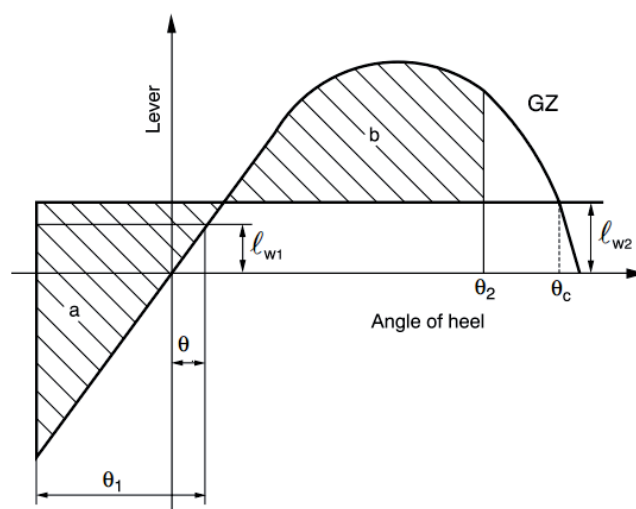


Figura 1. Criterio de viento severo y balance

De acuerdo a la sociedad de clasificación el área “b” será igual o mayor que el área “a” y el ángulo de escora bajo la acción de viento continuo será limitada a 16º o el 80% del ángulo de inmersión de la cubierta superior, cualquiera que sea menor.

Los momentos de escora producidos por el viento se calculan como sigue:

$$l_{w1} = \frac{P \cdot A \cdot Z}{1000 \cdot g \cdot \Delta}$$

$$l_{w2} = 1,5 \cdot l_{w1}$$

Donde:

- $P = 504 \text{ N/m}^2$ para navegación no restringida
- A , área lateral proyectada de la obra muerta
- Z , distancia vertical desde $T/2$ hasta el centro de A



Para calcular θ_1 se aplicará la siguiente expresión:

$$\theta_1 = 109 \cdot k \cdot X1 \cdot X2 \cdot \sqrt{r \cdot s}$$

Donde:

- k, para buques con quillote como es el caso se obtiene de la tabla 5 adjunta a continuación, siendo A_k el área lateral proyectada del quillote
- $X1$ y $X2$, se obtienen de las tablas 6 y 7 respectivamente, en función de B/T y C_B
- $r=0,73+0,6 \cdot (OG)/T$, siendo OG la distancia entre el centro de gravedad del buque y la flotación, positiva si este se encuentra sobre dicha flotación.
- s, queda definido en la tabla 8

$\frac{A_k \times 100}{L \times B}$	k
0,0	1,00
1,0	0,98
1,5	0,95
2,0	0,88
2,5	0,79
3,0	0,74
3,5	0,72
$\geq 4,0$	0,70

Tabla 5. Valor k

B/T_1	X_1
$\leq 2,4$	1,00
2,5	0,98
2,6	0,96
2,7	0,95
2,8	0,93
2,9	0,91
3,0	0,90
3,1	0,88
3,2	0,86
3,4	0,82
$\geq 3,5$	0,80

Tabla 6. Valor X_1



C_B	X_2
$\leq 0,45$	0,75
0,50	0,82
0,55	0,89
0,60	0,95
0,65	0,97
$\geq 0,70$	1,00

Tabla 7. Valor X_2

T_R	s
≤ 6	0,100
7	0,098
8	0,093
12	0,065
14	0,053
16	0,044
18	0,038
≥ 20	0,035

Tabla 8. Valor s

El ángulo θ_2 se tomará como ángulo de inundación, 50° o θ_c , el que resulte menor de los tres.

Finalmente se indica para calcular el periodo de balanceo la siguiente expresión:

$$T_R = \frac{2 \cdot C \cdot B}{\sqrt{GM}}$$
$$C = 0,373 + 0,023 \cdot \frac{B}{T} - 0,043 \cdot \frac{L_w}{100}$$

3.3. ESTABILIDAD EN AVERÍAS

Hay dos métodos para evaluar la estabilidad después de averías en un buque, el método determinista y el método probabilista.

En el presente caso se estudiará mediante el método probabilista, teniendo en cuenta que el proyecto se considera un buque de propósitos especiales y debe acogerse al reglamento de la IMO: SPS ("Special Purpose Ships"), considerándose como ya se ha explicado en anteriores cuadernos un buque de pasaje pues lleva más de doce personas ajenas a la tripulación a bordo.



El método probabilista se basa en la probabilidad de que una determinada avería ocurra y que una vez ocurrida dicha avería resulte fatal para el buque.

Para evaluar la seguridad del buque en averías se emplea un índice de compartimentado requerido R, y se compara con un índice de compartimentado A calculado.

- Índice de compartimentado requerido

La expresión a emplear para buques de pasaje, de acuerdo al capítulo II-1, de la regla 6 del SOLAS es:

$$R = 1 - \frac{5000}{L_s + 2,5 \cdot N + 15225}$$

Siendo:

- $N = N1 + N2$
- N1, número de personas para las que se proporcionan botes salvavidas
- N2, número de personas (incluidos oficiales y tripulación) superior a N1 que el buque está autorizado a llevar

$$R = 1 - \frac{5000}{80 + 2,5 \cdot 76 + 15225} = 0,677$$

Este valor se multiplicará por 0,8 para buques con menos de 60 personas a bordo y por 1 para buques con más de 240, en casos intermedios como el presente se interpolará, obteniéndose para 76 personas un factor de 0,818.

$$R = 0,818 \cdot 0,677 = 0,554$$

- Índice de compartimentado alcanzado

El índice de compartimentado obtenido A se determina mediante la sumatoria de los índices parciales As, Ap y Al (ponderados tal como se indica), calculados para los calados ds, dp y dl que se definen en la regla 2, de conformidad con la siguiente fórmula:

$$A = 0,4 \cdot A_s + 0,4 \cdot A_p + 0,2 \cdot A_l$$

Siendo estos índices parciales los obtenidos para los diferentes calados ds, dp y dl definidos de acuerdo a la regla 2 del presente capítulo del SOLAS como:

- ds: la flotación relativa al calado correspondiente a la línea de carga de verano que se asigne al buque
- dl: el calado de servicio correspondiente a la carga mínima prevista y a la capacidad correspondiente de los tanques, incluido, no obstante, el lastre que pueda ser necesario para la estabilidad o la inmersión. Los buques de pasaje



- incluirán la totalidad de los pasajeros y la tripulación a bordo
- dp : el correspondiente al calado de servicio en rosca más el 60% de la diferencia entre el citado calado y el calado máximo de compartimentado

El índice A se calcula como el sumatorio siguiente:

$$\sum p_i \cdot s_i$$

Donde:

- i representa cada uno de los compartimientos o grupo de compartimientos considerados
- p_i representa la probabilidad de que sólo se inunde el compartimiento o el grupo de compartimientos considerados, sin atender al compartimentado horizontal
- s_i representa la probabilidad de que el buque conserve la flotabilidad después de que se haya inundado el compartimiento o el grupo de compartimientos considerados, teniendo en cuenta los efectos del compartimentado horizontal

Las probabilidades p_i se calculan mediante el procedimiento descrito en el SOLAS, según el número de compartimientos definidos y la longitud de los mismos.

Para el cálculo de s_i , se calcularán tres diferentes " s_i ", tomándose luego el menor de los tres, estos tres son:

- $s_{intermedio,i}$ es la probabilidad de que se conserve la flotabilidad durante todas las etapas intermedias de inundación hasta alcanzar la etapa final de equilibrio, que se aplica por considerarse el buque como buque de pasaje

$$s_{intermedio,i} = \left(\frac{GZ_{max}}{0,05} * \frac{gama}{7} \right)^{\frac{1}{4}}$$

Donde GZ_{max} no se considerará superior a 0,05 m y la gama no se considerará superior a 7°.

$s_{intermedio} = 0$ si el ángulo de escora intermedio supera los 15°

- $s_{final,i}$ es la probabilidad de que se conserve la flotabilidad al experimentarse los momentos de escora

$$s_{final,i} = K \left(\frac{GZ_{max}}{0,12} * \frac{gama}{16} \right)^{\frac{1}{4}}$$



donde:

$GZ_{máx}$ no debe considerarse superior a 0,12 m;

$Gama$ no debe considerarse superior a 16° ;

$K=1$ si $\theta_e \leq \theta_{mín}$

$K=0$ si $\theta_e \geq \theta_{máx}$

$K = \sqrt{\frac{\theta_{máx} - \theta_e}{\theta_{máx} - \theta_{mín}}}$ en cualquier otro caso

donde:

$\theta_{mín}$ es igual a 7° en el caso de los buques de pasaje, y a 25° en el caso de los buques de carga; y

$\theta_{máx}$ es igual a 15° en el caso de los buques de pasaje, y a 30° en el caso de los buques de carga.

- $S_{mom,i}$ es la probabilidad de que se conserve la flotabilidad al experimentarse los momentos de escora

$$S_{mom,i} = \frac{(GZ_{máx} - 0,04) \text{Desplazamiento}}{M_{escora}}$$

Donde el momento de escora será el mínimo de los siguientes:

- $M_{pasaje} = (0,075 \cdot N_p) \cdot (0,45 \cdot B)$
 - N_p , número máximo de pasajeros
- $M_{viento} = (P \cdot A \cdot Z) / 9806$
 - $P = 120 \text{ N/m}^2$
 - A , es la superficie lateral proyectada de la obra muerta
 - Z , es la distancia entre $T/2$ y el centro de A

Finalmente se tendrá en cuenta la división de mamparos longitudinales y cubiertas estancas mediante los índices r y v , calculados de acuerdo a lo estipulado en el reglamento.

Además, se tendrán en cuenta las siguientes permeabilidades para el compartimentado, sugeridas por la normativa aplicable:

- Destinados a provisiones 0,60
- Ocupados como alojamientos 0,95
- Ocupados por maquinaria 0,85
- Espacios perdidos 0,95
- Destinados a líquidos 0 ó 0,95



4. ESTABILIDAD ESTÁTICA Y DINÁMICA DEL BUQUE INTACTO

Para calcular la estabilidad del buque deben tenerse en cuenta unos puntos concretos:

- El calado nunca superará el de francobordo de verano
- El calado a popa será siempre tal, que asegure el funcionamiento de los propulsores del buque, tomándose este valor como 6 metros para dar un margen de seguridad.
- El trimado del buque será nulo o casi nulo a fin de asegurar en todas las situaciones una correcta toma de muestras por la quilla retráctil, puesto que un trimado moderado podría influir negativamente, en particular un trimado por proa, por ello se procurará que el buque tenga un trimado nulo o ligeramente por popa.



4.1. SALIDA DE PUERTO 100 % DE CONSUMOS

Esta situación de carga se da cuando el buque sale de puerto hacia una misión, con todos los tanques de consumos llenos y los de desechos al 0%.

Se muestra a continuación la tabla de hidrostáticas en el equilibrio:

Tabla hidrostáticas "Salida de puerto"	
Parámetro	Valor
Desplazamiento t	7017
Calado medio m	7.2
Calado en proa	7.2
Calado en popa	7.2
Trimado (+ popa)	0.000
Eslora en la flotación m	84.765
Manga en la flotación m	18.149
Superficie mojada m ²	1972.008
Área de flotación m ²	1274.271
Coeficiente prismático	0.642
Coeficiente de bloque	0.618
Coeficiente de la maestra	0.967
Coeficiente de la flotación	0.828
LCB (desde perp. Pp.) m	37.198
LCF (desde perp. Pp.) m	33.247
KB m	4.075
KG m	4.73
BMt m	4.378
BML m	83.419
GMt m	3.723
GML m	82.764
KMt m	8.454
KML m	87.494
Ton/cm de inmersión	13.061
Mto para trimar 1 cm	72.567
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	455.995
Inclinación max. Cub.	0.000
Ángulo trimado (+ popa)	0.000

Tabla 9. Tabla hidrostáticas, salida puerto

Y la curva de brazos adrizantes GZ:

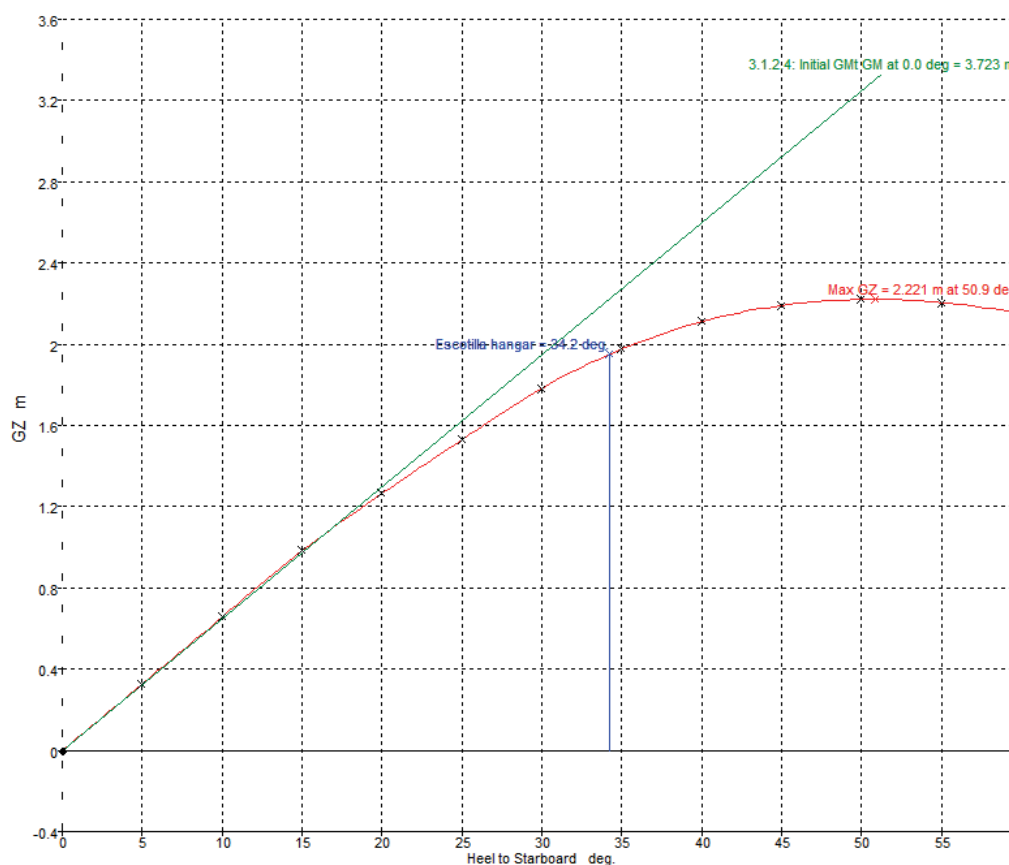


Figura 2. Brazos escorantes, salida de puerto

Como se puede ver cumple los criterios mínimos de estabilidad descritos anteriormente, habiéndose tomado como ángulo máximo para los cálculos 34,3º por ser este ángulo de inundación inferior a 40º:

Criterios estabilidad intacta "Salida puerto"			
Criterio	Valor mínimo	Valor obtenido	Margen
Area 0º a 30º (m·deg)	3.151	28.297	798%
Area 0º a 34,3º (m·deg)	5.160	36.196	601%
Area 30º a 34,3º (m·deg)	1.719	7.898	359%
GZ para >30º (m)	0.200	2.221	1011%
Ángulo para GZ max (deg)	25.00	50.900	104%
GMt inicial (m)	0.150	3.723	2382%

Tabla 10. Criterios estabilidad intacta, salida puerto



Aplicando el criterio de vientos se obtienen los siguientes resultados, también satisfactorios:

Salida puerto			
Parámetro	Criterio	Valor obtenido	Margen
θ_1 (°)	-	19.534	-
θ_2 (°)	-	34.300	-
lw_1	-	0.054	-
lw_2	-	0.081	-
θ_o (°)	16.00	0.829	95%
Área a	-	29.101	-
Área b	-	74.036	-
b/a	1.000	2.544	154%

Tabla 11. Criterio vientos, salida puerto



4.2. LLEGADA A PUERTO 10% DE CONSUMOS

Esta situación de carga se da cuando el buque llega a puerto después de la misión, con todos los tanques de consumos al 10%, salvo el de agua dulce que se considerará al 50% y los de desechos al 90%.

Se muestra a continuación la tabla de hidrostáticas en el equilibrio:

Tabla hidrostáticas "Llegada a puerto"	
Parámetro	Valor
Desplazamiento t	5917
Calado medio m	6.324
Calado en proa	6.295
Calado en popa	6.353
Trimado (+ popa)	0.058
Eslora en la flotación m	81.433
Manga en la flotación m	18.145
Superficie mojada m ²	1763.222
Área de flotación m ²	1187.161
Coeficiente prismático	0.645
Coeficiente de bloque	0.618
Coeficiente de la maestra	0.962
Coeficiente de la flotación	0.803
LCB (desde perp. Pp.) m	37.723
LCF (desde perp. Pp.) m	34.904
KB m	3.574
KG m	5.766
BMt m	4.831
BML m	80.57
GMt m	2.639
GML m	78.378
KMt m	8.405
KML m	84.144
Ton/cm de inmersión	12.168
Mto para trimar 1 cm	57.947
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	272.538
Inclinación max. Cub.	0.041
Ángulo trimado (+ popa)	0.041

Tabla 12. Tabla hidrostáticas, llegada puerto

Y la curva de brazos adrizantes GZ:

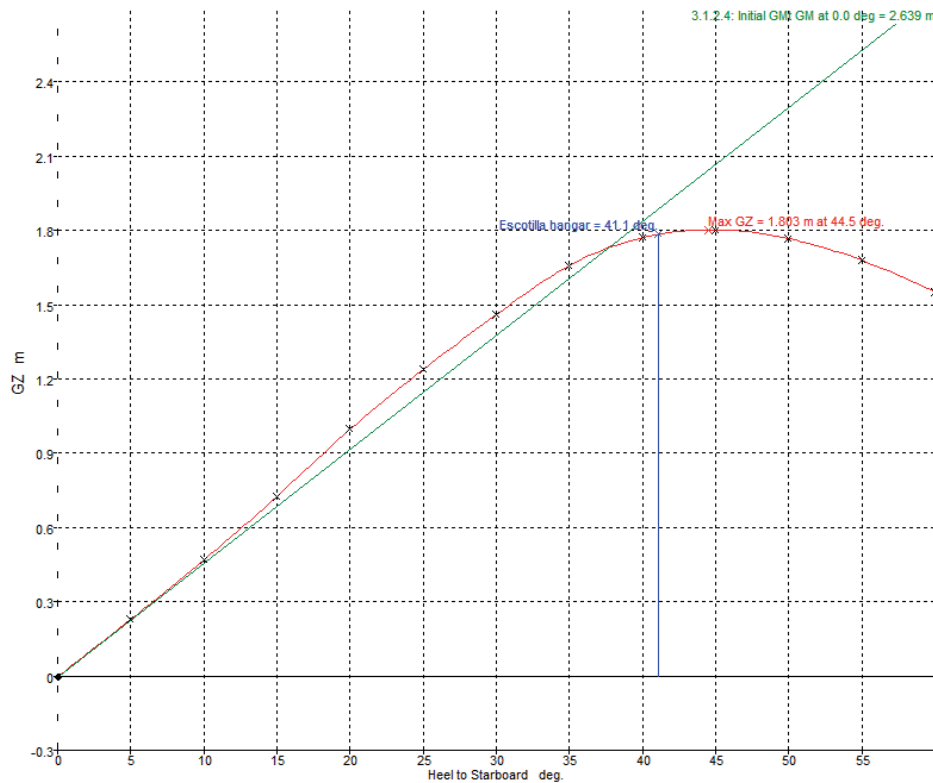


Figura 3. Brazos escorantes, llegada a puerto

Como se puede ver cumple los criterios mínimos de estabilidad descritos anteriormente, y en este caso, por ser el ángulo de inundación mayor de 40° se tomará este valor como ángulo máximo para los criterios:

Criterios estabilidad intacta "Llegada puerto"			
Criterio	Valor mínimo	Valor obtenido	Margen
Area 0° a 30° (m·deg)	3.151	21.942	596%
Area 0° a 40° (m·deg)	5.160	38.376	644%
Area 30° a 40° (m·deg)	1.719	16.434	856%
GZ para >30° (m)	0.200	1.803	802%
Ángulo para GZ max (deg)	25.000	44.500	78%
GMt inicial (m)	0.150	2.639	1659%

Tabla 13. Criterios estabilidad intacta, llegada puerto



Aplicando el criterio de vientos se obtienen los siguientes resultados, también satisfactorios:

Llegada puerto			
Parámetro	Criterio	Valor obtenido	Margen
θ_1 (°)	-	19.701	-
θ_2 (°)	-	34.300	-
lw_1	-	0.070	-
lw_2	-	0.104	-
θ_o (°)	16.00	1.566	90%
Área a	-	21.457	-
Área b	-	55.409	-
b/a	1.000	2.582	158%

Tabla 14. Criterios viento, llegada a puerto



4.3. SITUACIÓN INTERMEDIA

La situación de carga intermedia se ha elegido de tal manera que su calado sea el calado de la situación de llegada a puerto más un 60% de la diferencia del calado entre la situación de salida de puerto y la situación de llegada a puerto. Esto se ha hecho así puesto que para la estabilidad en averías se requiere dicha situación, y aquí va a estudiarse previamente su estabilidad intacta. Se muestra a continuación la tabla de hidrostáticas en el equilibrio:

Tabla hidrostáticas "Situación intermedia"	
Parámetro	Valor
Desplazamiento t	6578
Calado medio m	6.848
Calado en proa	6.771
Calado en popa	6.924
Trimado (+ popa)	0.153
Eslora en la flotación m	84.553
Manga en la flotación m	18.148
Superficie mojada m ²	1894.492
Área de flotación m ²	1247
Coeficiente prismático	0.636
Coeficiente de bloque	0.612
Coeficiente de la maestra	0.965
Coeficiente de la flotación	0.813
LCB (desde perp. Pp.) m	37.284
LCF (desde perp. Pp.) m	33.636
KB m	3.878
KG m	4.939
BMt m	4.542
BML m	83.779
GMt m	3.48
GML m	82.718
KMt m	8.42
KML m	87.657
Ton/cm de inmersión	12.782
Mto para trimar 1 cm	67.987
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	399.537
Inclinación max. Cub.	0.110
Ángulo trimado (+ popa)	0.110

Tabla 15. Tabla hidrostáticas, situación intermedia

Y la curva de brazos adrizantes GZ:

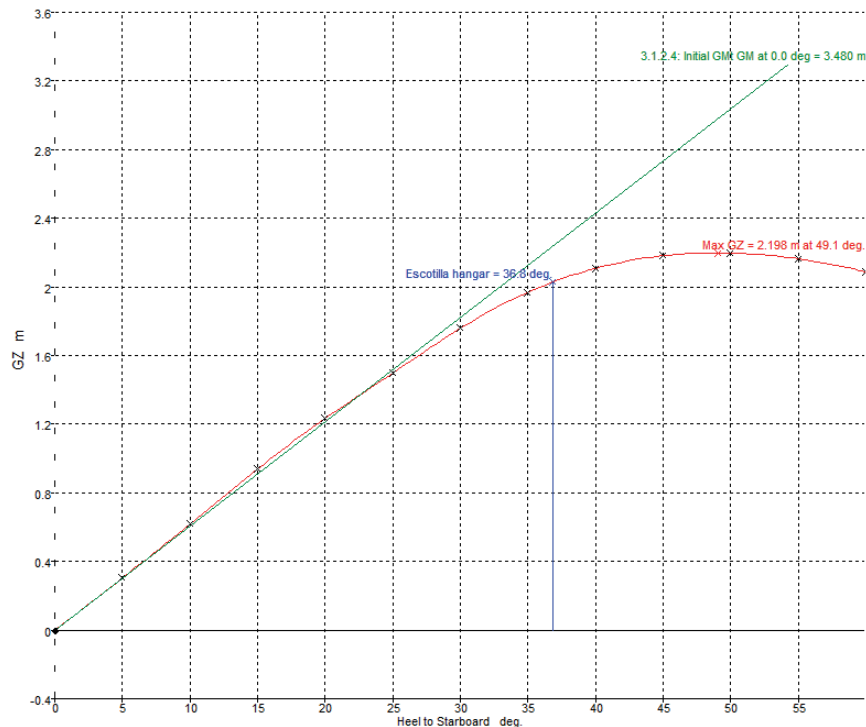


Figura 4. Brazos escorantes, situación intermedia

Como se puede ver cumple los criterios mínimos de estabilidad descritos anteriormente, tomando nuevamente un ángulo inferior a 40° debido al punto de inundación progresiva definido en la escotilla del hangar:

Criterios estabilidad intacta "Situación intermedia"			
Criterio	Valor mínimo	Valor obtenido	Margen
Area 0° a 30° (m·deg)	3.151	22.348	609%
Area 0° a 36,8° (m·deg)	5.160	40.329	682%
Area 30° a 36,8° (m·deg)	1.719	12.962	654%
GZ para >30° (m)	0.200	2.198	999%
Ángulo para GZ max (deg)	25.000	49.100	96%
GMt inicial (m)	0.150	3.480	2220%

Tabla 16. Criterios estabilidad intacta, situación intermedia



Aplicando el criterio de vientos se obtienen los siguientes resultados, también satisfactorios:

Situación intermedia			
Parámetro	Criterio	Valor obtenido	Margen
θ_1 (°)	-	19.461	-
θ_2 (°)	-	34.300	-
lw_1	-	0.059	-
lw_2	-	0.089	-
θ_0 (°)	16.00	1.346	92%
Área a	-	20.787	-
Área b	-	56.485	-
b/a	1.000	2.717	172%

Tabla 17. Criterio vientos, situación intermedia

5. ESTABILIDAD EN AVERÍAS

Se ha empleado el software Maxsurf, módulo Hydromax, que se basa en la resolución explicada con anterioridad en el presente cuaderno para la obtención y comprobación de la estabilidad en averías a través del método probabilista.

El factor de subdivisión R obtenido es $R = 0,818$

Y el factor de subdivisión para cada caso de carga $R_i = 0,498$

Finalmente se define el número $N1$ correspondiente al número de personas máximo de los botes de rescate como 60.

Con todo esto lo que resta es dividir el buque en compartimentos, mediante los mamparos estancos y las cubiertas por debajo de la cubierta resistente, quedando como se muestra en la siguiente figura:

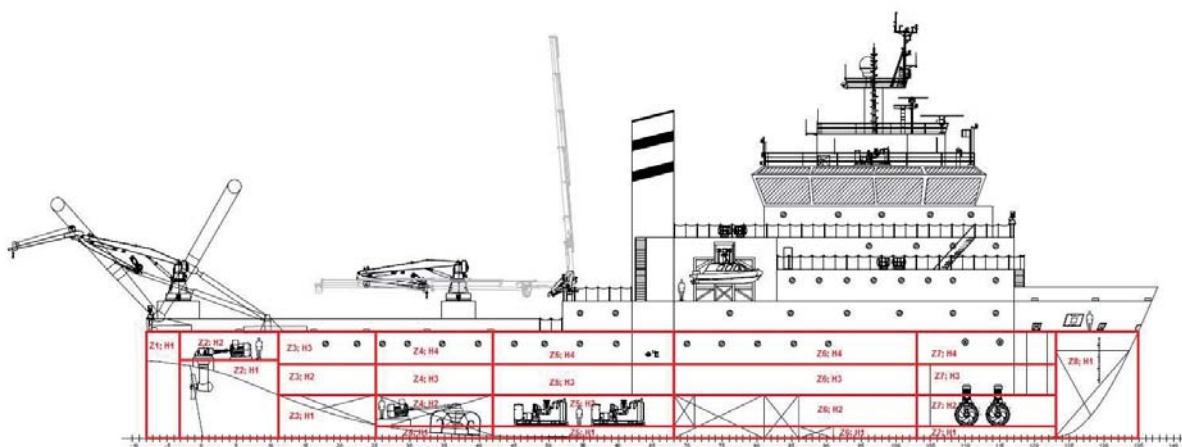


Figura 5. Compartimentado para método probabilista

Para que el cálculo de la estabilidad en averías se realice más rápido se desestimarán los casos cuya probabilidad de inundación sea inferior al 0,01 %, así como aquellos casos con un ángulo de trimado superior a 25°, y el caso máximo será para 3 compartimentos adyacentes, pues a partir de ahí la diferencia en los resultados es inapreciable.

Habiendo definido de esta forma el buque solo resta empezar los cálculos, con lo que se obtienen las siguientes tablas de valores para cada caso (se muestra solo el valor tomado por zona y no los cálculos desestimados), además en algunos casos el valor es nulo, esto se debe a que se ha superado el ángulo de trimado máximo especificado.



Salida puerto 100% consumos (Stbd)								
Caso	Resultado	p	r	v	p·r·v	s	A	R
Z1; H1	GZ curve completed successfully	0.0198	1	0.1957	0.0039	1	0.0039	
Z1; Hx; Alt.1/2	GZ curve completed successfully	0.0198	1	0.8043	0.0159	1	0.0159	
Z2; H2; Alt.1/2	GZ curve completed successfully	0.0416	1	0.1957	0.0081	1	0.0081	
Z2; Hx; Alt.1/3	GZ curve completed successfully	0.0416	1	0.8043	0.0335	1	0.0335	
Z3; H3; Alt.1/3	GZ curve completed successfully	0.0416	1	0.1957	0.0081	1	0.0081	
Z3; Hx; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0416	1	0.8043	0.0335	1	0.0335	
Z4; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0582	1	0.1957	0.0114	1	0.0114	
Z4; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0582	1	0.8043	0.0468	1	0.0468	
Z5; bx; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.1145	1	0.1957	0.0224	1	0.0224	
Z5; bx; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.1145	1	0.8043	0.0921	1	0.0921	
Z6; H4; Alt.1/4	Trim limit exceeded	0.1747	1	0.1957	0.0342	0	0.0000	
Z6; Hx; Alt.1/5	Trim limit exceeded	0.1747	1	0.8043	0.1405	0	0.0000	
Z7; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0763	1	0.1957	0.0149	1	0.0149	
Z7; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0763	1	0.8043	0.0613	1	0.0613	
Z8; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0684	1	0.1957	0.0134	1	0.0134	
Z8; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0684	1	0.8043	0.0550	1	0.0550	
Z1,2; H2; Alt.1/2	GZ curve completed successfully	0.0386	1	0.1957	0.0075	1	0.0075	
Z1,2; Hx; Alt.1/3	GZ curve completed successfully	0.0386	1	0.8043	0.0310	1	0.0310	
Z2,2; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0445	1	0.1957	0.0087	1	0.0087	
Z2,2; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0445	1	0.8043	0.0358	1	0.0358	
Z3,2; H4; Alt.1/4	Trim limit exceeded	0.0479	1	0.1957	0.0094	0	0.0000	
Z3,2; Hx; Alt.1/5	Trim limit exceeded	0.0479	1	0.8043	0.0385	0	0.0000	
Z4,2; bx; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0569	1	0.1957	0.0111	1	0.0111	
Z4,2; bx; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0569	1	0.8043	0.0458	1	0.0458	
Z5,2; bx; H4; Alt.1/4	Trim limit exceeded	0.0648	1	0.1957	0.0127	0	0.0000	
Z5,2; bx; Hx; Alt.1/5	Trim limit exceeded	0.0648	1	0.8043	0.0521	0	0.0000	
Z6,2; H4; Alt.1/4	Trim limit exceeded	0.0616	1	0.1957	0.0121	0	0.0000	
Z6,2; Hx; Alt.1/5	Trim limit exceeded	0.0616	1	0.8043	0.0496	0	0.0000	
Z7,2; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0559	1	0.1957	0.0109	1	0.0109	
Z7,2; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0559	1	0.8043	0.0449	1	0.0449	
Attained partial index As							0.6163	0.4872

Tabla 18. Salida puerto 100 % consumos (Estribor)



Situación intermedia (Stbd)								
Caso	Resultado	p	r	v	p·r·v	s	A	R
Z1; H1	GZ curve completed successfully	0.0198	1	0.2291	0.0045	1	0.0045	
Z1; Hx; Alt.1/2	GZ curve completed successfully	0.0198	1	0.7709	0.0153	1	0.0153	
Z2; H2; Alt.1/2	GZ curve completed successfully	0.0416	1	0.2291	0.0095	1	0.0095	
Z2; Hx; Alt.1/3	GZ curve completed successfully	0.0416	1	0.7709	0.0321	1	0.0321	
Z3; H3; Alt.1/3	GZ curve completed successfully	0.0416	1	0.2291	0.0095	1	0.0095	
Z3; Hx; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0416	1	0.7709	0.0321	1	0.0321	
Z4; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0582	1	0.2291	0.0133	1	0.0133	
Z4; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0582	1	0.7709	0.0449	1	0.0449	
Z5; bx; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.1145	1	0.2291	0.0262	1	0.0262	
Z5; bx; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.1145	1	0.7709	0.0883	1	0.0883	
Z6; H4; Alt.1/4	Trim limit exceeded	0.1747	1	0.2291	0.0400	0	0.0000	
Z6; Hx; Alt.1/5	Trim limit exceeded	0.1747	1	0.7709	0.1347	0	0.0000	
Z7; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0763	1	0.2291	0.0175	1	0.0175	
Z7; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0763	1	0.7709	0.0588	1	0.0588	
Z8; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0684	1	0.2291	0.0157	1	0.0157	
Z8; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0684	1	0.7709	0.0527	1	0.0527	
Z1,2; H2; Alt.1/2	GZ curve completed successfully	0.0386	1	0.2291	0.0088	1	0.0088	
Z1,2; Hx; Alt.1/3	GZ curve completed successfully	0.0386	1	0.7709	0.0297	1	0.0297	
Z2,2; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0445	1	0.2291	0.0102	1	0.0102	
Z2,2; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0445	1	0.7709	0.0343	1	0.0343	
Z3,2; H4; Alt.1/4	Trim limit exceeded	0.0479	1	0.2291	0.0110	0	0.0000	
Z3,2; Hx; Alt.1/5	Trim limit exceeded	0.0479	1	0.7709	0.0369	0	0.0000	
Z4,2; bx; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0569	1	0.2291	0.0130	1	0.0130	
Z4,2; bx; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0569	1	0.7709	0.0439	1	0.0439	
Z5,2; bx; H4; Alt.1/4	Trim limit exceeded	0.0648	1	0.2291	0.0148	0	0.0000	
Z5,2; bx; Hx; Alt.1/5	Trim limit exceeded	0.0648	1	0.7709	0.0499	0	0.0000	
Z6,2; H4; Alt.1/4	Trim limit exceeded	0.0616	1	0.2291	0.0141	0	0.0000	
Z6,2; Hx; Alt.1/5	Trim limit exceeded	0.0616	1	0.7709	0.0475	0	0.0000	
Z7,2; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0559	1	0.2291	0.0128	1	0.0128	
Z7,2; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0559	1	0.7709	0.0431	1	0.0431	
Attained partial index Ap							0.6163	0.4872

Tabla 19. Situación intermedia (Estridor)



Llegada puerto 100% consumos (Stbd)								
Caso	Resultado	p	r	v	p·r·v	s	A	R
Z1; H1	GZ curve completed successfully	0.0198	1	0.2782	0.0055	1	0.0055	0.4872
Z1; Hx; Alt.1/2	GZ curve completed successfully	0.0198	1	0.7218	0.0143	1	0.0143	
Z2; H1	GZ curve completed successfully	0.0416	1	0.0423	0.0018	1	0.0018	
Z2; H2; Alt.1/2	GZ curve completed successfully	0.0416	1	0.2359	0.0098	1	0.0098	
Z2; Hx; Alt.1/3	GZ curve completed successfully	0.0416	1	0.7218	0.0300	1	0.0300	
Z3; H3; Alt.1/3	GZ curve completed successfully	0.0416	1	0.2769	0.0115	1	0.0115	
Z3; Hx; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0416	1	0.7218	0.0300	1	0.0300	
Z4; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0582	1	0.2769	0.0161	1	0.0161	
Z4; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0582	1	0.7218	0.0420	1	0.0420	
Z5; bx; H3; Alt.1/3	GZ curve completed successfully	0.1145	1	0.0012	0.0001	1	0.0001	
Z5; bx; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.1145	1	0.2769	0.0317	1	0.0317	
Z5; bx; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.1145	1	0.7218	0.0827	1	0.0827	
Z6; H3; Alt.1/3	Trim limit exceeded	0.1747	1	0.0012	0.0002	0	0.0000	
Z6; H4; Alt.1/4	Trim limit exceeded	0.1747	1	0.2769	0.0484	0	0.0000	
Z6; Hx; Alt.1/5	Trim limit exceeded	0.1747	1	0.7218	0.1261	0	0.0000	
Z7; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0763	1	0.2769	0.0211	1	0.0211	
Z7; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0763	1	0.7218	0.0551	1	0.0551	
Z8; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0684	1	0.2769	0.0189	1	0.0189	
Z8; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0684	1	0.7218	0.0494	1	0.0494	
Z1,2; H1	GZ curve completed successfully	0.0386	1	0.0423	0.0016	1	0.0016	
Z1,2; H2; Alt.1/2	GZ curve completed successfully	0.0386	1	0.2359	0.0091	1	0.0091	
Z1,2; Hx; Alt.1/3	GZ curve completed successfully	0.0386	1	0.7218	0.0278	1	0.0278	
Z2,2; H3; Alt.1/3	GZ curve completed successfully	0.0445	1	0.0410	0.0018	1	0.0018	
Z2,2; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0445	1	0.2359	0.0105	1	0.0105	
Z2,2; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0445	1	0.7218	0.0321	1	0.0321	
Z3,2; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0479	1	0.2769	0.0133	0.7647	0.0101	
Z3,2; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0479	1	0.7218	0.0345	0.7647	0.0264	
Z4,2; bx; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0569	1	0.2769	0.0158	1	0.0158	
Z4,2; bx; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0569	1	0.7218	0.0411	1	0.0411	
Z5,2; bx; H4; Alt.1/4	Trim limit exceeded	0.0648	1	0.2769	0.0179	0	0.0000	
Z5,2; bx; Hx; Alt.1/5	Trim limit exceeded	0.0648	1	0.7218	0.0468	0	0.0000	
Z6,2; H4; Alt.1/4	Trim limit exceeded	0.0616	1	0.2769	0.0171	0	0.0000	
Z6,2; Hx; Alt.1/5	Trim limit exceeded	0.0616	1	0.7218	0.0445	0	0.0000	
Z7,2; H4; Alt.1/4	GZ curve completed successfully	0.0559	1	0.2769	0.0155	1	0.0155	
Z7,2; Hx; Alt.1/5	GZ curve completed successfully	0.0559	1	0.7218	0.0403	1	0.0403	
Attained partial index AI							0.6523	0.4872

Tabla 20. Llegada puerto 10 % consumos (Estribor)



De los resultados anteriores obtenemos el siguiente resumen y resultado final:

Resultados método probabilista		
Situación	R	A
Salida puerta	0.4872	0.6163
Situación intermedia	0.4872	0.6163
Llegada puerto	0.4872	0.6523
Total	0.5413	0.6235

Tabla 21. Resultados método probabilista

Es decir nuestro índice A es superior al índice R, con que el buque cumple con los requisitos de estabilidad en averías.



6. RESISTENCIA LONGITUDINAL

La resistencia longitudinal nos muestra la distribución de cargas a lo largo del buque, de tal manera que mediante el programa “Maxsurf- Stability” introduciremos la distribución de pesos tal y como se calculó en el cuaderno 11.

Una vez introducidos estos datos el programa calcula la carga neta mediante:

$$Carga\ neta = masa - empuje$$

En toneladas por metro.

Para el cálculo de los esfuerzos cortantes se integrará a lo largo de toda la eslora la carga neta en toneladas por metro:

$$Q = \int_0^L (Carga\ neta) dL$$

Finalmente se hallarán los momentos flectores mediante la integración a lo largo de la eslora de los esfuerzos cortantes:

$$Mf = \int_0^L (Q) dL$$

Se comprobará que tanto los esfuerzos cortantes como los momentos flectores no superen los límites establecidos por la sociedad de clasificación (Bureau Veritas):

- Momento flector máximo: 4.403 kN
- Esfuerzo cortante máximo: 132.769 kN·m

Para ello se ha cuidado especialmente la distribución de pesos a fin de reducir los momentos y esfuerzos cortantes tanto como sea posible, logrando siempre que se encuentren dentro de los límites establecidos por el reglamento mencionado.

6.1. SALIDA DE PUERTO 100 % DE CONSUMOS

El momento máximo se da en la zona central del buque, con un valor de 5.693 ton·m (55.848 kN·m) y el esfuerzo cortante máximo en la zona de proa del buque con un valor de signo negativo -260 ton (-2.551 kN).

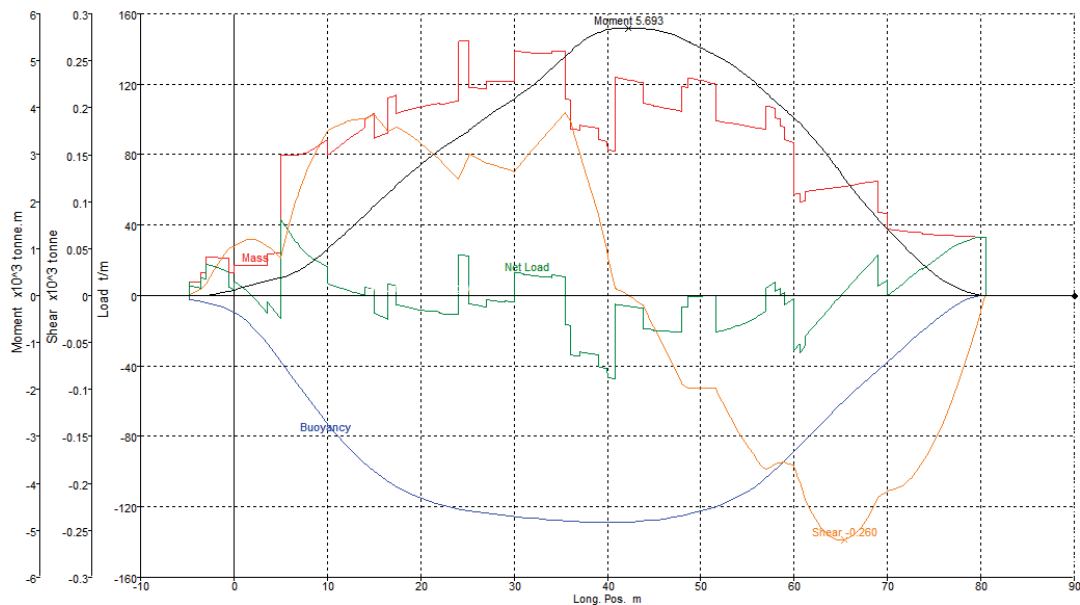


Figura 6. Resistencia longitudinal, salida puerto

Comparando los valores de momento flector y esfuerzos cortantes frente a lo calculado en el cuaderno 10 comprobamos que cumple lo estipulado por la sociedad de clasificación, tal y como se muestra en la página siguiente, de tal manera que si bien los esfuerzos cortantes en proa se acercan al límite estipulado por Bureau Veritas, sigue dentro de los límites y por tanto cumple la condición impuesta.

Los momentos flectores no presentan ninguna zona crítica.

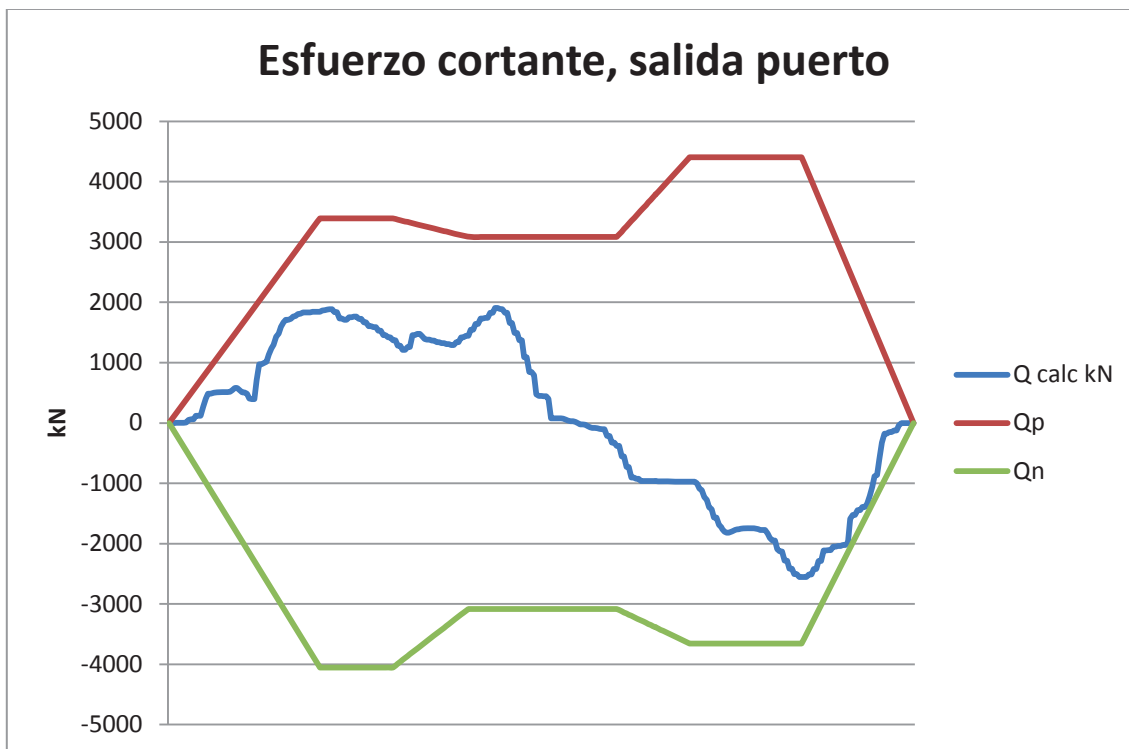


Figura 7. Esfuerzo cortante, salida puerto

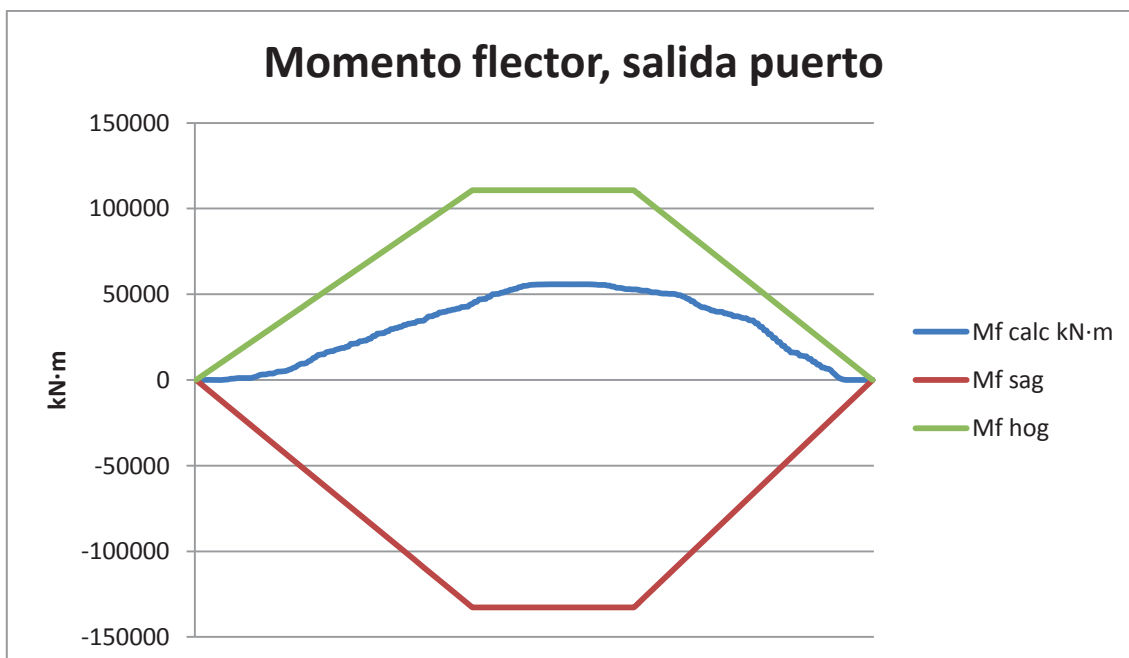


Figura 8. Momento flector, salida puerto

6.2. LLEGADA A PUERTO 10% DE CONSUMOS

Esta resulta la situación más desfavorable en lo que a resistencia longitudinal se refiere, pues al reducirse el calado también se reduce el empuje que afecta al buque, y al estar los tanques situados en la zona central para evitar trimados excesivos durante la navegación y consumo de los mismos, disminuyen el peso en esta zona, mientras que el resto de equipos y peso muerto no consumible se mantiene distribuido a lo largo de toda la eslora, concretamente la superestructura en proa y las grúas y pódico a popa generan un aumento de los esfuerzos cortantes y por tanto del momento flector, resultando unos valores de 8.014 ton·m (78.617 kN·m) de momento flector y -323 ton (3.169 kN) de esfuerzo cortante.

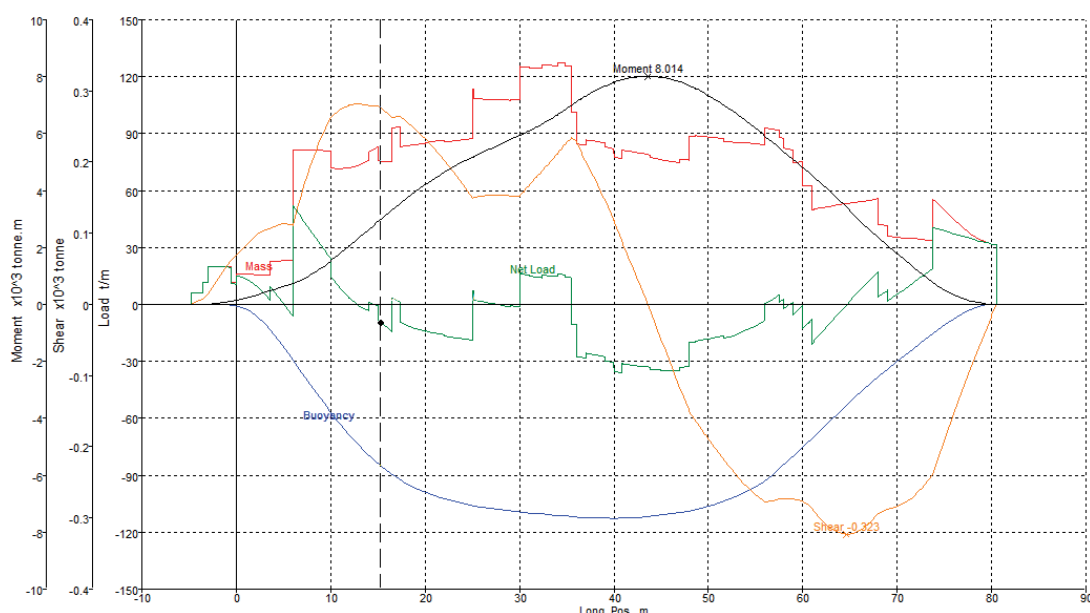


Figura 9. Resistencia longitudinal, llegada puerto

Se compara nuevamente el resultado, que es más desfavorable que el anterior con la sociedad de clasificación, y se comprueba que esta vez también cumple, aunque en la misma sección de proa siga cerca del límite para los esfuerzos cortantes, pero siempre por dentro.

En el caso de los momentos flectores cumple holgadamente.

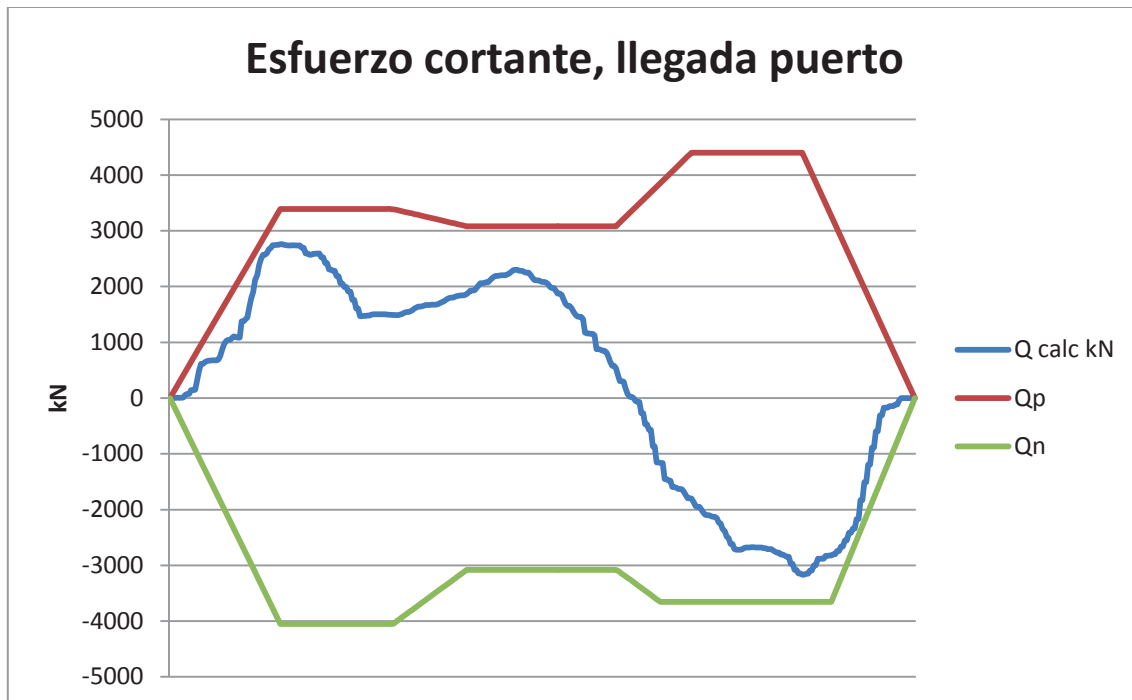


Figura 10. Esfuerzo cortante, llegada puerto

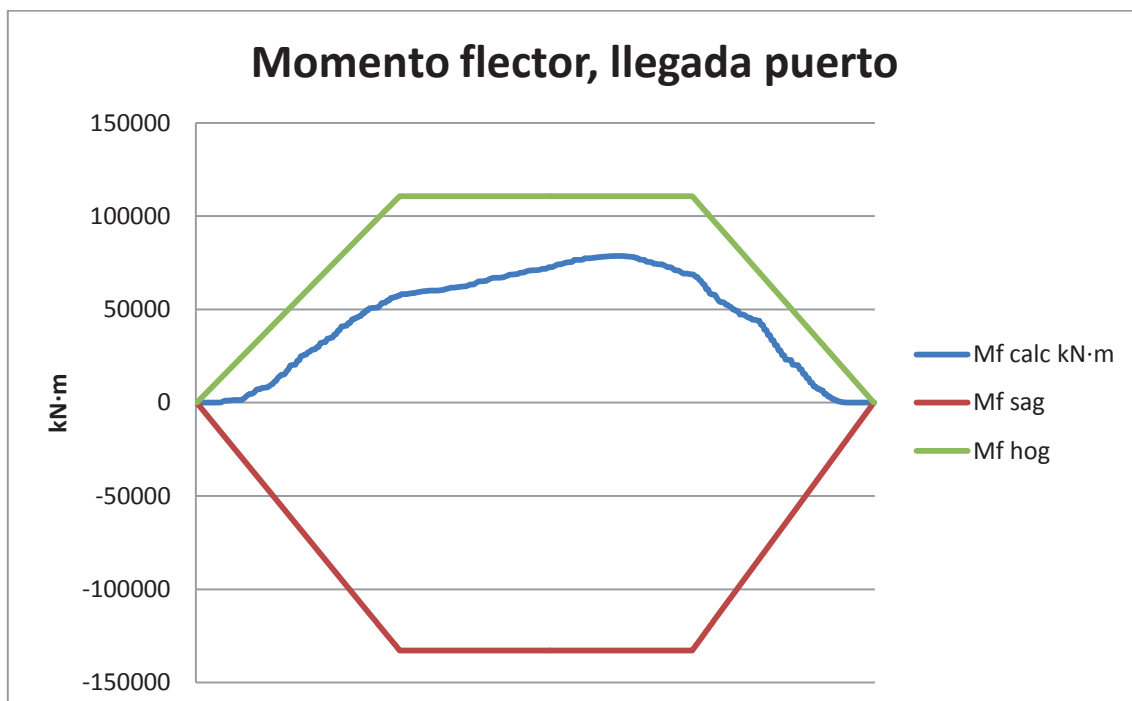


Figura 11. Momento flector, llegada puerto

6.3. SITUACIÓN INTERMEDIA

Para la situación intermedia se ha considerado que el buque ha estado navegando y ha consumido parte de sus tanques de combustible y provisiones, además de haber llenado parte de los tanques de desechos.

Se ha hecho de tal manera que el calado se ajuste a lo solicitado en la condición de avería para calado intermedio, y su trimado sea nulo.

Se ha obtenido un momento flector máximo de 5.550 ton·m (53.955 kN·m) y un esfuerzo cortante de -233 ton (-2.286 kN).

Comparando los valores de momento flector y esfuerzos cortantes frente a lo calculado en el cuaderno 10 comprobamos que cumple lo estipulado por la sociedad de clasificación:

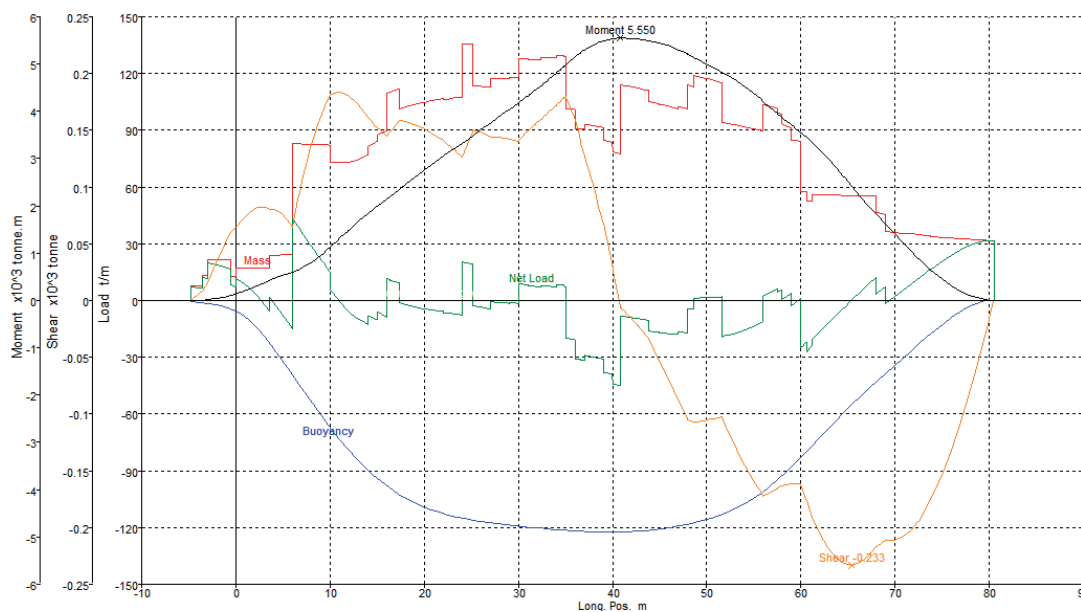


Figura 12. Resistencia longitudinal, situación intermedia

Como se puede comprobar en la página siguiente, esta es la situación que más holgadamente cumple las condiciones de la sociedad de clasificación, ya que dispone de una distribución de pesos más homogénea.

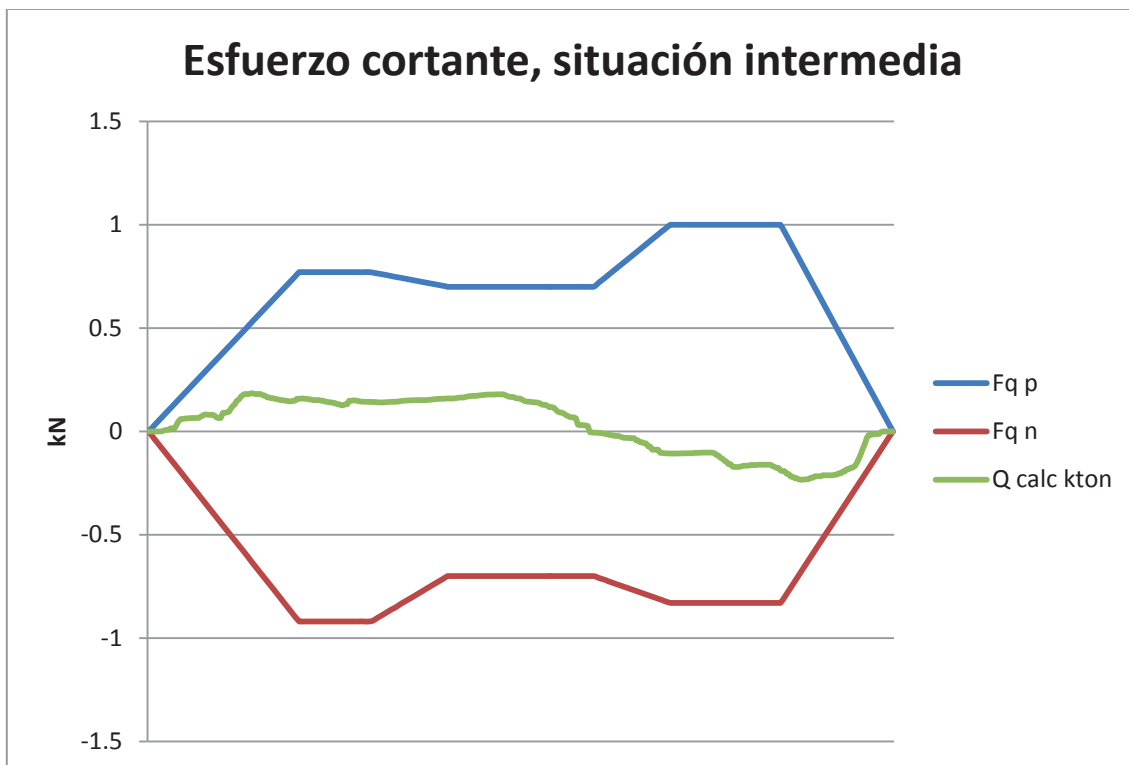


Figura 13. Esfuerzo cortante, situación intermedia

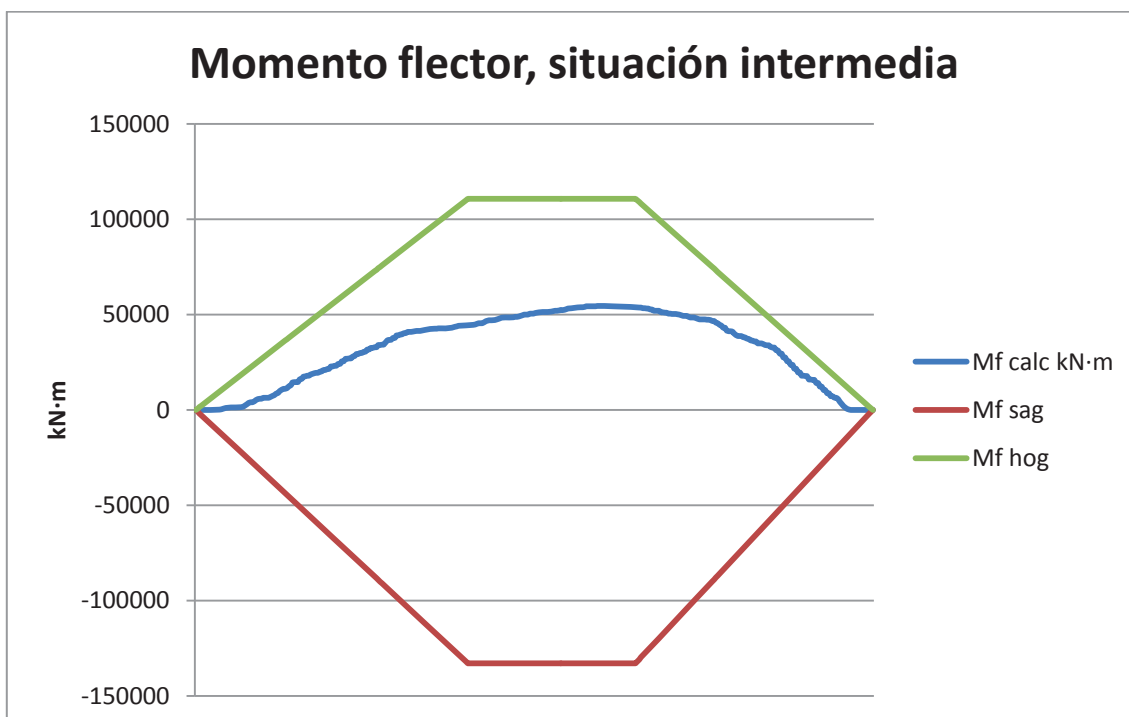


Figura 14. Momento flector, situación intermedia



7. PARÁMETRO DE ESCAPE MEDIO DE HIDROCARBUROS

De acuerdo a la regla 12A del anexo 1 del MARPOL, si un buque cuenta con más de 600 m³ de combustible, este no podrá estar en contacto con el forro exterior del buque en ningún punto, salvo que el valor del parámetro adimensional de escape medio de hidrocarburos " O_M " sea menor que el máximo descrito en dicha regla 12A.

Dicho valor viene dado por la expresión estipulada en el MARPOL:

$$O_{Mmax} = 0,0157 - 1,14 \cdot 10^{-6} \cdot C$$

Siendo C el volumen total de hidrocarburos a bordo, en metros cúbicos.

Para el O_M particular del buque se usará la siguiente fórmula:

$$O_M = \frac{0,4 \cdot O_{MS} + 0,6 \cdot O_{MB}}{C}$$

$$O_{MS} = \sum_1^n P_{S(i)} \cdot O_{S(i)}$$

$$O_{MB} = \sum_1^n P_{B(i)} \cdot O_{B(i)} \cdot C_{BD(i)}$$

El parámetro O_{MS} está referido al escape medio para una avería en el costado, mientras que O_{MB} está referido al escape medio para una avería en el fondo del buque.

De acuerdo a la normativa se adoptarán las siguientes decisiones:

- Buque cargado al calado de carga parcial sin trimado ni escora
- Tanques de combustible al 98% de su capacidad
- Densidad del combustible unitaria
- Permeabilidad de los tanques del 99%
- Los tanques de menos de 30m³ serán ignorados en los cálculos

El valor de escape medio para una avería en el costado se resume en la tabla siguiente, habiéndose desestimado aquellos cuyo valor es nulo, aunque se han dejado aquellos de valor despreciable:



Parámetro de escape medio en el costado (O_{MS})				
Tanque	Volumen (m^3)	$P_S(i)$	$O_S(i)$	$O_S \cdot P_S$
MDO Popa Br	63.402	0.0564	63.402	3.577
MDO Popa Er	63.402	0.0564	63.402	3.577
MDO Proa	79.305	0.0131	79.305	1.038
Total	206.11			8.192

Tabla 22. Parámetro de escape medio, costado

De igual manera se procede con el parámetro de escape medio en el fondo, donde el parámetro CBD se toma como unitario al no estar limitado inferiormente ningún tanque por otro tanque destinado a una carga diferente de hidrocarburos:

Parámetro de escape medio en el fondo (O_{MB})					
Tanque	Volumen (m^3)	C_{BD}	$P_B(i)$	$O_B(i)$	$C_{BD} \cdot O_B \cdot P_S$
MDO Pp Br	131.567	1	0.0629	0.02	0.001
MDO Pp Er	131.567	1	0.0629	0.02	0.001
MDO Br	180.017	1	0.1749	13.209	2.31
MDO CCMM Er	37.449	1	0.1143	37.449	4.279
MDO CCMM Br	37.449	1	0.1143	14.539	1.661
MDO Er	180.017	1	0.1749	13.209	2.31
Total	698.064				10.563

Tabla 23. Parámetro de escape medio, fondo

Una vez hecho esto, y conociendo la capacidad C total de hidrocarburos a bordo, el cálculo resulta sencillo de realizar, obteniendo:

Parámetro de escape medio de hidrocarburos		
Parámetro	Valor	Unidades
O_{MS}	8.192	m3
O_{MB}	10.563	m3
C	904.174	m3
O_M	0.011	-
$O_M \text{ Max}$	0.015	-

Tabla 24. Parámetro de escape medio, total

Es decir un valor de 0,011, inferior al 0,015 máximo calculado para el presente caso.



8. CONCLUSIONES

El objetivo de este cuaderno ha sido comprobar que el buque cumple con toda la reglamentación exigida aplicable para su navegación, concretamente en lo relacionado con la estabilidad del buque.

Se ha demostrado que para las diferentes situaciones de carga el buque cumple con la normativa de la IMO en lo referente a estabilidad intacta para pequeños y grandes ángulos, así como el criterio de vientos severos, si bien es cierto que el ángulo de inundación, debido a la escotilla situada sobre el hangar es menor de 40° , sigue estando por encima de 30° y cumple sobradamente con la exigencia de área bajo la curva GZ entre dichos ángulos, con que no hay problema en este aspecto.

La estabilidad en averías, que debido a la normativa para este tipo de buques se ha realizado usando el método probabilista cumple el valor exigido sobradamente, con que puede considerarse el buque, de acuerdo a lo estudiado como un buque estable.

Además, se ha calculado la resistencia estructural, basada en el reparto de cargas y empuje a lo largo de la eslora, luego de esto se ha comprobado con éxito que en el caso más desfavorable sigue cumpliendo con la sociedad de clasificación en lo referente a esfuerzos cortantes y momentos flectores.

Finalmente, dado que el buque carga más de 600 m^3 de combustible diesel, estando algunos tanques en contacto con el costado o el fondo, que cumplía los requisitos exigidos por el MARPOL para estos casos, a fin de poder llevar esta distribución, para lo cual se ha realizado un compartimentado adecuado, hasta lograr con éxito el objetivo.



9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MEIZOSO FERNÁNDEZ, MANUEL; ALVARIÑO CASTRO, RICARDO; AZPÍROZ AZPÍROZ, JUAN JOSÉ. *“El Proyecto Básico del Buque Mercante”*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval, 1997
- [2] Resolución MSC. 216 (82). Adoption of amendments to the international convention for the safety of life at sea, 1974. IMO, Diciembre 2006
- [3] Resolución MSC. 266(84). Code of Safety for Special Purpose Ships, 2008
- [4] Resolución MSC. 267 (85). Adoption of the international code on intact stability, 2008 (2008 IS CODE), IMO. Diciembre, 2008
- [5] Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos. MARPOL, 2007



PROYECTO Nº 252

BUQUE OCEANOGRÁFICO

DE 7.000 T

Cuaderno 13

Presupuesto

TUTOR: ELOY J. CARRILLO HONTORIA

ALUMNO: ALEJANDRO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	ESTIMACIÓN DE CONCEPTOS DE COSTES (MATERIALES Y HORAS)	6
2.1.	GASTOS DE ASTILLERO	6
2.2.	CASCO	7
2.3.	EQUIPO, ARMAMENTO E INSTALACIONES	9
2.4.	MAQUINARIA AUXILIAR DE CUBIERTA	13
2.5.	INSTALACIÓN PROPULSORA	14
2.6.	MAQUINARIA AUXILIAR DE LA PROPULSIÓN	14
2.7.	CARGOS Y RESPETOS	17
2.8.	INSTALACIONES ESPECIALES	17
3.	HORAS DE TRABAJO ASOCIADAS	18
3.1.	CASCO	18
3.2.	EQUIPO, ARMAMENTO E INSTALACIONES	19
3.3.	MAQUINARIA AUXILIAR DE CUBIERTA	21
3.4.	INSTALACIÓN PROPULSORA	21
3.5.	MAQUINARIA AUXILIAR DE LA PROPULSIÓN	22
3.6.	CARGOS Y RESPETOS	23
3.7.	INSTALACIONES ESPECIALES	23
4.	RESULTADOS PRESUPUESTO	24
4.1.	GASTOS DE ASTILLERO	24
4.2.	CASCO	24
4.3.	EQUIPO, ARMAMENTO E INSTALACIONES	25
4.4.	MAQUINARIA AUXILIAR DE CUBIERTA	25
4.5.	INSTALACIÓN PROPULSORA	26
4.6.	MAQUINARIA AUXILIAR DE PROPULSIÓN	26
4.7.	CARGOS Y RESPETOS	26
4.8.	INSTALACIONES ESPECIALES	27
4.9.	RESUMEN	27
5.	CONCLUSIONES	32
6.	BIBLIOGRAFÍA	33



INDICE DE FIGURAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Figura 1. Coste material	28
	Figura 2. Coste trabajo	29
	Figura 3. Coste total	30
	Figura 4. Comparativa presupuestos de buques oceanográficos	31



INDICE DE TABLAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Tabla 1. Coste material equipos navegación.....	11
	Tabla 2. Gastos de astillero	24
	Tabla 3. Costes de casco.....	24
	Tabla 4. Coste de equipos, armamento e instalaciones.....	25
	Tabla 5. Costes de maquinaria auxiliar de cubierta	25
	Tabla 6. Costes de instalación propulsora.....	26
	Tabla 7. Costes de maquinaria auxiliar de propulsión	26
	Tabla 8. Costes de cargos y respetos	26
	Tabla 9. Costes de instalaciones especiales	27
	Tabla 10. Resumen presupuesto	27
	Tabla 11. Presupuestos buques oceanográficos	30



1. INTRODUCCIÓN

Se pretende a lo largo de este cuaderno, dar una cifra aproximada del coste total del buque, de tal manera que pueda estudiarse su viabilidad no solo técnica, si no también económica, para decidir si resulta rentable su construcción.

Se desglosará el presupuesto en diferentes conceptos y partidas, de tal manera que se facilite la comprensión y distribución del presupuesto.

Se tratará adicionalmente de comparar el resultado obtenido con otros presupuestos reales de buques oceanográficos construidos en los últimos años para cerciorarse de que la cifra obtenida no difiere mucho de la realidad.



2. ESTIMACIÓN DE CONCEPTOS DE COSTES (MATERIALES Y HORAS)

Para realizar los cálculos estimativos del presupuesto del proyecto se va a seguir la ref. [2], que divide los costes en las siguientes partidas:

- Gastos varios de astillero
- Casco
- Equipo, armamento e instalaciones
- Maquinaria auxiliar de cubierta
- Instalación propulsora
- Maquinaria auxiliar de la propulsión
- Cargos y respetos
- Instalaciones especiales

Si bien hay que tener en cuenta que los presupuestos dados están referidos a la situación de 1.987 en España, y los valores están dados en pesetas, moneda local que dejó de circular en el año 2.001, se deberá pasar el valor a €, que es la moneda actual a fecha 2.015, además de corregir los valores por la evolución del IPC, que de acuerdo al INE (Instituto Nacional de Estadística) entre 1987 y 2015 el incremento de IPC es del 148%, $1\text{€}=166,386\text{ pta.}^{***}$.

Nótese que Pta.=Peseta y kPta.= 1000 Pta.

Adicionalmente, y de acuerdo a la misma referencia se calcularán las horas de trabajo asociadas a cada concepto, cuando proceda.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, los resultados se mostrarán en kPta. para el cálculo base, y a continuación se dará el valor equivalente en euros luego de aplicar las correcciones correspondientes.

2.1. GASTOS DE ASTILLERO

Los gastos de astillero se dividen en los siguientes subconceptos:

- **Gastos de ingeniería**

Que se tomarán según el número de horas trabajadas, considerando 40.000 horas de trabajo a 8.000 Pta/h (48 €/h).

- **Sociedades de clasificación**

Se va a estimar la partida destinada a la sociedad de clasificación, en este caso Bureau Veritas



como 41.500.000 Pta. (250.000 €).

- **Pruebas y garantía**

Esta partida incluye prácticos, botadura, pruebas, etc. y se estimará en 25 millones de pesetas (150.000 €).

También se incluirá un presupuesto extra de 50 millones de pesetas (300.000 €) para ensayos de optimización en canal en este apartado.

- **Servicios auxiliares durante la construcción**

Incluyendo en este punto andamiaje, alumbrado provisional y limpieza, se puede estimar en unos 17 millones de pesetas (100.000 €).

- **Seguro de construcción**

El seguro de construcción, de acuerdo a la ref. [2] se tomará como un 4,5% del precio total del buque.

2.2. CASCO

Se divide en:

- **Acero laminado**

El acero dulce calidad naval tipo A se estima en 115.000 pta/t (690 €/t).

- **Resto de materiales del casco**

El resto de materiales del casco se estiman como:

$$C_{resto} = 4 \cdot L \cdot H$$

Siendo L la eslora del buque y H la altura del mismo.



- **Materiales auxiliares**

Se toma como 7.000 Ptas/t de acero estructural.

- **Preparación de superficies**

Dependerá de la superficie total del buque, tomándose 300 ptas/m² para imprimación, 1300 ptas/m² para granallado de la superficie exterior y 2500 ptas/m² para granallado de la superficie interior.

- **Pintura y control de corrosión**

○ Pintura del casco

Para calcular los costes de pintura se tiene en cuenta que va a usarse pintura convencional, de tal manera que los costes se calcularán multiplicando la superficie por las micras de espesor por un factor K.

Dicho factor K dependerá de la zona de la siguiente manera

- Obra viva exterior K=2,05 kPta/m²/micra
- Obra muerta exterior K=2,05 kPta/m²/micra
- Interior del casco K=1,8 kPta/m²/micra

○ Pintura en tuberías

Se aplicará la fórmula siguiente:

$$C_{pint\ tub} = 0,03 \cdot (0,057 \cdot BHP^{0,18} \cdot L) \cdot K$$

K=1,8

○ Galvanizado y cementado

Se considera como el 7,5% del coste total de la pintura

○ Protección catódica por ánodos de sacrificio

Se puede estimar multiplicando la superficie mojada por 0,25



2.3. EQUIPO, ARMAMENTO E INSTALACIONES

Los costes de equipos del buque se desglosan en las siguientes partidas:

- **Equipo de fondeo, amarre y remolque**

- Anclas

Se estiman como 370 kPta/t

- Cadenas, cables y estachas

$$C_{cadenas,etc} = 0,025 \cdot K \cdot d_{cadena}^2 L_{cadena}$$

Para acero normal se toma $K=0,275$.

- **Medios de salvamento**

- Botes salvavidas

$$C_{botes} = K_{bo} \cdot N_{personas bote}^{2/3}$$

Siendo $K_{bo} = 500$ para botes de motor cerrados.

- Balsas salvavidas

$$C_{balsas} = K_{bo} \cdot N_{personas balsa}^{1/3}$$

Siendo $K_{bo} = 160$ para balsa no arriable.

- Pescante de bote

$$C_{pescante} = K_{bo} \cdot N_{personas bote}^{2/3}$$

Siendo $K_{bo} = 660$ para botes de motor cerrados.



- Varios

Se estiman costes varios, referentes a aros salvavidas, trajes de inmersión, etc. como:

$$C_{\text{varios salvamento}} = (400 + 5 \cdot N)$$

Donde N es el número total de personas a bordo.

- **Habilitación de alojamientos**

La habilitación de los alojamientos se estima en función del área de los mismos multiplicando por un factor Kn que varía entre 30 y 40 de acuerdo a la calidad de los mismos, tomándose un valor intermedio para este caso.

$$C_{\text{hab alojamientos}} = Kn \cdot Sn$$

- **Equipos de fonda y hotel**

- Cocina y oficios

Se estima como:

$$C_{FyH} = Kcc \cdot N$$

Siendo N el número de personas y Kcc un factor que se tomará como 50 al considerarse éste un buque de pasaje.

- Gambuzas frigoríficas

Se calcula en función del volumen de las mismas de acuerdo a la siguiente expresión:

$$C_{\text{gambuzas}} = 300 \cdot V_{\text{gamb.f}}^{2/3}$$

- Lavandería y varios

Puede considerarse 40 kPta/persona.



- **Equipos de acondicionamiento en alojamientos**

- Calefacción y aire acondicionado ($175 \cdot N^{0,215} + 0,2 \cdot S_n^{0,25}$)

Podemos estimarlo como:

$$C_{acond. aloj.} = 175 \cdot N^{0,215} + 0,2 \cdot S_n^{0,25}$$

- Varios

Se considera un coste adicional por servicios auxiliares varios de acondicionamiento como 12 kPta/persona

- **Navegación y comunicaciones**

- Navegación

Los costes se tomarán, entre los siguientes valores según el equipo de navegación, con los valores dados en kPta:

Equipos de navegación		
Equipo	Costo mínimo	Costo máximo
Compas magnético	200	450
Comás giróscopo	2000	7000
Piloto automático	1000	1000
Radar de mov. verdadero	8600	8600
Radar de mov. relativo	800	2500
Radiogoniómetro	300	1300
Receptor de cartas	650	800
Corredera	400	1300
Sonda	475	700
Sonda de pesca	600	1200
Sistema de navegación satélite	500	1200

Tabla 1. Coste material equipos navegación

- Equipos auxiliares

El resto de equipos auxiliares se tomarán como el 8% del coste total de los equipos de navegación.



- Comunicaciones externas

Se destina una partida para este concepto de entre 8.000 y 20.000 kPta más un extra de 3.500 kPta por considerarse buque de pasaje.

- Comunicaciones internas

Las comunicaciones internas se estiman entre 2.000 y 6.000 kPta más $80 \cdot N_p^{0,85}$ kPta extra por considerarse buque de pasaje.

- **Medios contra incendios**

$$C_{CI} = 1,4 \cdot L_m \cdot B \cdot D_m$$

Donde el subíndice m indica que está referido a la cámara de máquinas.

- **Chigres y sus equipos de accionamiento**

Se calcularán como:

$$C_{chigres} = 1200 \cdot Tiro^{0,95}$$

- **Grúas**

Para cada grúa se estima mediante:

$$C_{grúas} = 420 \cdot SWL^{0,765} \cdot Lp^{0,85}$$

Donde SWL es la carga en toneladas de la grúa y Lp la longitud de la pluma.

- **Escotillas en cubierta exterior**

Se estimará:

$$C_{escotillas} = 10,1 \cdot L_{es} \cdot B_{es}^{1,77}$$



- **Instalación eléctrica**

$$C_{inst.elect.} = 80 \cdot kW^{0,77}$$

Siendo kW la potencia total instalada en kW.

- **Tuberías**

Se toma como:

$$C_{tuberías} = 450 + (0,015 \cdot L_m \cdot D_m \cdot B + 0,18 \cdot L) + Kt \cdot BHP + 0,25 \cdot (3 \cdot L_m \cdot D_m \cdot B)$$

Siendo Kt=0,95 para combustibles ligeros.

- **Accesorios de equipo, armamento e instalaciones**

- Puertas metálicas, ventanas y portillos

$$C_{puertas} = 450 \cdot N^{0,48}$$

- Escaleras, pasamanos y candeleros

$$C_{escaleras} = 3,7 \cdot L^{1,6}$$

- Accesorios de fondeo y amarre

$$C_{acc. FyA} = 3,1 \cdot (L \cdot (B + D))^{0,815}$$

2.4. MAQUINARIA AUXILIAR DE CUBIERTA

- **Fondeo y amarre**

- Molinete

$$C_{molinete} = 48 \cdot d_{cadena}^{1,3}$$



- Cabrestante

$$C_{cabrestante} = 375 \cdot Tiro^{1,6}$$

- **Estiba de contenedores**

$$C_{estiba TEUS} = 38 \cdot K1 \cdot N_{TEUS}$$

K1=0,85 para estibas simples.

2.5. INSTALACIÓN PROPULSORA

- **Hélice transversal**

El costo puede estimarse en:

$$C_{hel.transv.} = 152 \cdot BHP^{0,73}$$

El resto de equipos de instalación propulsora listados a continuación se ha obtenido sus precios del fabricante u otros presupuestos similares:

- **Timón propulsor**
- **Water-jet**
- **Motores eléctricos**

Finalmente, los equipos adicionales como pueden ser convertidores se han estimado como un 20% del precio total de la partida destinada a instalación propulsora.

2.6. MAQUINARIA AUXILIAR DE LA PROPULSIÓN

- **Grupos electrógenos**

$$C_{GS} = 42 \cdot d_{cilindro}^{2,2} \cdot \frac{N_{cilindros}^{0,8}}{RPM} + 4.000 \cdot \left(\frac{kW_{generados}}{RPM} \right)^{2/3}$$



- **Equipos de circulación, refrigeración y lubricación**

$$C_{circ.ref.lub} = (K1 + K2) \cdot BHP$$

K1=2,4 para motores de cuatro tiempos, y K2=0 al no haber enfriador central de placas de titanio.

- **Equipos de arranque de motores**

$$C_{arranque} = 13 \cdot N_{compresores} \cdot Q_{compresores}$$

- **Equipos manejo combustible**

$$C_{manejo MDO} = 7,3 \cdot N_{bombas traseigo} \cdot Q_{bombas traseigo} + 0,35 \cdot BHP$$

- **Equipos de purificación**

- Purificadores centrífugas y calentadores

$$C_{purificadores} = 1630 \cdot N_{purif.ac.} \cdot Q_{purif.ac.} \cdot K1 + 790 \cdot N_{purif.MDO} \cdot K1 \cdot Q_{purif.MDO}$$

K1=1 para depuradoras auto limpiantes.

- Manejo de lodos, trasiegos y derrames

Se estima esta partida en 250 kPta.

- Tratamiento por aditivos para limpieza

Se tomará como:

$$C_{tratamientos} = 4 \cdot BHP^{2/3}$$

- **Equipos auxiliares de casco**

- Bombas CI, lastre, servicios generales y sentinas

$$C_{aux.casco} = 100 \cdot K1 \cdot Q_{BS}^{1/3} + 160 \cdot K2 \cdot Q_{CI}^{1/3} + 160 \cdot k3 \cdot Q_{CI}^{1/3} + 185 \cdot k4 \cdot Q_{BS}^{1/3}$$



Donde $K_1=3$; $K_2=3$; $K_3=40$; $K_4=1$; para buques con arqueo bruto $TRB > 4.000$ GT

- Separadoras de sentinas con sus bombas y alarmas

$$C_{sep.sentinas} = 26 \cdot TRB^{0,5} + K_{ss} \cdot 850$$

Donde $K_{ss}=1$ con control automático de descargas.

- **Equipos sanitarios**

- Generador de agua dulce

$$C_{gen AD} = 230 \cdot Q_{generador} \left(\frac{t}{dia} \right)$$

- Grupos hidróforos

$$C_{g.hidróforo} = 110 \cdot N^{0,5}$$

- Planta de tratamiento de aguas residuales

$$C_{t.ag.res.} = 440 \cdot N^{0,4}$$

- Incinerador de residuos sólidos

$$C_{g.hidróforo} = 1900 \cdot N^{0,2}$$

- **Varios**

- Ventiladores de CCMM

$$C_{varios} = 1,25 \cdot N_{ventiladores} \cdot Q_{ventilador}^{0,5} + 0,92 \cdot K_f \cdot BHP^{0,5}$$

$K_f=0$ por quemar solo combustible ligero.

- Taller de máquinas (600-2200 kPtas, según nivel)



Se estima entre 600 y 2200 kPta según el nivel o calidad del taller.

2.7. CARGOS Y RESPETOS

Los cargos y respetos reglamentarios del buque se consideran ya contabilizados en partidas previas, con que solo se añadirán los no reglamentarios, mediante la siguiente expresión:

$$C_{\text{respetos no regl.}} = 0,0038 \cdot K1 \cdot Vt + 90 \cdot K2 \cdot N$$

Donde $K1=0,85$ y $K2=0,8$ para buques de complejidad media, Vt es el precio total estimado del buque.

2.8. INSTALACIONES ESPECIALES

Se tendrán en cuenta en este apartado los siguientes conceptos:

- **Equipos oceanográficos y científicos**

Estimados en 1.750.000 €, en base a la superficie científica total del buque.

- **Sistema de posicionamiento dinámico**

Se toma como 250.000€ para DP II.

- **Equipos de automatización y control**

Se estimará esta partida en 1.250.000€.

- **Quilla retráctil**

Se destinará a este equipo un presupuesto de 150.000 €.



3. HORAS DE TRABAJO ASOCIADAS

3.1. CASCO

- Acero laminado

Las horas de trabajo asociadas a este concepto son difícil de estimar, pero una posible expresión simplificada que ofrece la referencia seguida es la siguiente:

$$H_{ac.lam.} = K_{mo} \cdot P_{acero} \cdot (1 + K_c \cdot (1 - C_f))$$

Donde K_{mo} es el índice de mano de obra del casco, en horas/tonelada neta, que dependerá del buque y astillero, tomándose en este caso 90 h/t.

K_c es un índice de coeficiente de forma que puede tomarse como 0,3.

C_f es el coeficiente de forma, que puede ser el de bloque o el prismático, en nuestro caso elegiremos el de bloque para los cálculos.

- Resto de materiales del casco

Las horas de trabajo se estiman mediante:

$$H_{resto\ casco} = 25 + 250 \cdot P_{aluminio} + 30 \cdot L^{\frac{1}{3}} \cdot H \cdot K1$$

$K1 = 2$ para buques con dos hélices.

- Materiales auxiliares

Normalmente este concepto no lleva horas asociadas.

- Preparación de superficies

Las horas asociadas se calculan como 0,02 h/m² multiplicado por la superficie total, tanto exterior como interior del buque.



- **Pintura y control de corrosión**

El total de horas asociado se puede calcular como:

$$H_{pyC} = 0,251 \cdot S_{ob.muerta} \cdot (1 + 0,3 \cdot N_{capas}) + 0,35 \cdot S_{ob.viva} \cdot \frac{N_{capas}}{4} + 0,4 \cdot S_{int} \cdot N_{capas}$$

3.2. EQUIPO, ARMAMENTO E INSTALACIONES

- **Equipo de fondeo, amarre y remolque**

El tiempo de mano de obra asociado a fondeo y amarre se toma como:

$$H_{FyA} = 227 \cdot P_{anclas}^{0,4}$$

- **Medios de salvamento**

El tiempo de mano de obra asociado a salvamento se toma como:

$$H_{FyA} = 300 + 15 \cdot N$$

- **Habilitación de alojamientos**

El tiempo de mano de obra asociado a la habilitación de los alojamientos se puede tomar como 16 h/m² de la superficie de dichos áreas.

- **Equipos de fonda y hotel**

Se estima el tiempo dedicado a esta partida como 115 horas por tripulante del buque.

- **Equipos de acondicionamiento en alojamientos**

Las horas correspondientes pueden basarse en 2 h/m² de la superficie de alojamientos.



- **Navegación y comunicaciones**

Las horas pueden estimarse con la fórmula:

$$H_{Nyc} = 330 \cdot (N_{equipos} - 6)$$

- **Medios contraincendios**

Se estiman como:

$$H_{CI} = 5,5 \cdot L$$

- **Chigres y sus equipos de accionamiento**

Se estiman en 130 horas por maquinilla.

- **Grúas**

Las horas correspondientes a grúas pueden estimarse con la siguiente expresión:

$$H_{grúas} = 290 \cdot N_{grúas} \cdot SWL^{1/3}$$

- **Escotillas en cubierta exterior**

Las horas de montaje de los cierres de escotillas se pueden estimar mediante:

$$H_{escotillas} = 460 \cdot S_{escotilla}^{0,3}$$

- **Instalación eléctrica**

Se estiman en:

$$H_{ie} = 4 \cdot S_m + 6 \cdot kW$$



- **Tuberías**

Las horas de este concepto se estiman como:

$$H_{tub} = 11 \cdot BHP^{0,85}$$

- **Accesorios de equipo, armamento e instalaciones**

Se usará la siguiente fórmula:

$$H_{eq.} = 80 \cdot N_{pax} + 56 \cdot (L - 15) + 0,9 \cdot L \cdot (B + D) + 2 \cdot L + 50 \cdot N_{botes} + 100 \cdot N_{pescantes}$$

3.3. MAQUINARIA AUXILIAR DE CUBIERTA

- **Fondeo y amarre**

Las horas correspondientes pueden estimarse con la fórmula:

$$H_{FyA} = L \cdot (1,75 \cdot N_{molinetes} + 1,6 \cdot N_{cabrestantes} + 1,7 \cdot N_{maquinillas})$$

3.4. INSTALACIÓN PROPULSORA

Se estimarán en función de la potencia de los motores propulsores mediante:

$$H_{mot\ prop} = 100 \cdot BHP^{2/3} \cdot N_{motores}$$

Para el resto de partidas de este concepto se estiman las horas.



3.5. MAQUINARIA AUXILIAR DE LA PROPULSIÓN

- Grupos electrógenos

Se estimará como:

$$H_{mot\ prop} = 52 \cdot N_{GS} \cdot kW^{0,43}$$

- Equipos de circulación, refrigeración y lubricación

Las horas pueden estimarse con la fórmula:

$$H_{circ.ref.lub.} = K_{er1} + 0,18 \cdot BHP$$

Siendo $K_{er1}=2250$ para motores de cuatro tiempos, y BHP la potencia total instalada a bordo.

- Equipos de arranque de motores

Se estimará en:

$$H_{arranque} = N_{compresores} \cdot (40 + 3,5 \cdot Q_{compresores})$$

- Equipos manejo combustible

Sus horas pueden tomarse de acuerdo a:

$$H_{traseigo\ MDO} = K_{co} \cdot BHP$$

Siendo $K_{co}=0,13$ por quemarse combustible tipo MDO.

- Equipos de purificación

Se calculará como:

$$H_{purificación} = (K_{ep} + 0,056 \cdot BHP) \cdot N_{purific. totales}$$

Siendo $K_{ep}=90$ por no quemarse combustible pesado, si no ligero.



- **Equipos auxiliares de casco**

$$H_{aux\ casco} = 420 + 0,47 \cdot L \cdot (B + D)$$

- **Equipos sanitarios**

$$H_{eq.san.} = K_1 \cdot (280 + 8 \cdot Q_{gen.AD}) + K_2 \cdot (200 + 3,5 \cdot N) + K_3 \cdot (410 + 3,9 \cdot N) + 400 \cdot K_4$$

Donde K1=1 por existir generador de agua dulce, K2=1 por existir grupo hidróforo, K3=1 por existir planta de tratamiento de aguas fecales y K4=1 por existir incineradora de residuos sólidos orgánicos.

- **Varios**

$$H_{varios} = 0,005 \cdot BHP$$

3.6. CARGOS Y RESPETOS

Las horas necesarias para su estiba a bordo se pueden estimar como:

$$H_{mot\ prop} = k_1 \cdot BHP^{2/3}$$

Siendo K1=0,8 por ser motor de cuatro tiempos.

3.7. INSTALACIONES ESPECIALES

Se han estimado las horas de trabajo asociadas a este respecto de acuerdo a lo observado en buques de características similares, adecuándolo siempre a las características del presente proyecto.



4. RESULTADOS PRESUPUESTO

Se muestran a continuación por conceptos, los resultados obtenidos mediante el procedimiento explicado a lo largo de este cuaderno.

Dado que la referencia seguida ofrece un resultado en pesetas se ha incluido esta moneda en el presupuesto, además de la actual, el euro.

4.1. GASTOS DE ASTILLERO

Gastos de astillero					
Partida	Coste (kPta)	Horas asociadas (h)	Coste trabajo (kPta)	Total (kPta)	Total (€)
Gastos de ingeniería	299495	0,0	0	299495	4.464.000 €
Sociedades de clasificación	41597	0,0	0	41597	620.000 €
Pruebas y garantía	74874	0,0	0	74874	1.116.000 €
Servicios auxiliares construcción	16639	0,0	0	16639	248.000 €
Seguro construcción	524116	0,0	0	524116	7.812.000 €
Total	956720	0,0	0	956720	14.260.000 €

Tabla 2. Gastos de astillero

4.2. CASCO

Casco					
Partida	Coste (kPta)	Horas asociadas (h)	Coste trabajo (kPta)	Total (kPta)	Total (€)
Acero laminado	210032	181286,4	1450291	1660323	24.747.279 €
Resto materiales	9600	7668,5	61348	70948	1.057.487 €
Materiales auxiliares	12785	0,0	0	12785	190.555 €
Preparación superficies	13624	130,5	1044	14668	218.627 €
Pintura y control anticorrosión	44607	5038,6	40308	84915	1.265.673 €
Total	290647	194124,0	1552992	1843639	27.479.621 €

Tabla 3. Costes de casco



4.3. EQUIPO, ARMAMENTO E INSTALACIONES

Equipo, armamento e instalaciones					
Partida	Coste (kPta)	Horas asociadas (h)	Coste trabajo (kPta)	Total (kPta)	Total (€)
Fondeo, amarre y remolque	11904	551,0	4408	16313	243.140 €
Medios de salvamento	21647	1440,0	11520	33167	494.357 €
Habilitación de alojamientos	39043	17848,3	142787	181830	2.710.191 €
Fonda y hotel	11509	8740,0	69920	81429	1.213.704 €
Acondicionamiento alojamientos	1357	2231,0	17848	19206	286.260 €
Navegación y comunicaciones	25648	1650,0	13200	38848	579.037 €
Medios CI	1067	440,0	3520	4587	68.367 €
Chigres y equipos accionamiento	8806	130,0	1040	9846	146.756 €
Grúas y pórtico	129555	4631,5	37052	166607	2.483.287 €
Escotillas	917	1323,6	10589	11506	171.492 €
Instalación eléctrica	82532	36810,0	294480	377012	5.619.396 €
Tuberías	5605	14806,3	118451	124056	1.849.070 €
Accesorios	14780	12142,0	97136	111916	1.668.121 €
Total	354370	102743,8	821950	1176321	17.533.179 €

Tabla 4. Coste de equipos, armamento e instalaciones

4.4. MAQUINARIA AUXILIAR DE CUBIERTA

Maquinaria auxiliar de cubierta					
Partida	Coste (kPta)	Horas asociadas (h)	Coste trabajo (kPta)	Total (kPta)	Total (€)
Fondeo y amarre	55493	808,0	6464	61957	923.476 €
Estiba de contenedores	129	0,0	0	129	1.926 €
Total	55622	808,0	6464	62086	925.401 €

Tabla 5. Costes de maquinaria auxiliar de cubierta



4.5. INSTALACIÓN PROPULSORA

Instalación propulsora					
Partida	Coste (kPta)	Horas asociadas (h)	Coste trabajo (kPta)	Total (kPta)	Total (€)
Timón propulsor	40000	2500,0	20000	60000	894.306 €
SPJ	85000	1800,0	14400	99400	1.481.567 €
Hélice transversal	30835	1216,5	9732	40567	604.658 €
Motores eléctricos	65000	29574,5	236596	301596	4.495.318 €
Otros equipos	44167	500,0	4000	48167	717.935 €
Total	265003	35591,0	284728	549730	8.193.785 €

Tabla 6. Costes de instalación propulsora

4.6. MAQUINARIA AUXILIAR DE PROPULSIÓN

Maquinaria auxiliar propulsión					
Partida	Coste (kPta)	Horas asociadas (h)	Coste trabajo (kPta)	Total (kPta)	Total (€)
Grupos electrógenos	8619	5526,9	44215	52834	787.502 €
Circ. Ref. Lub.	11520	3114,0	24912	36432	543.023 €
Arranque	686	344,8	2758	3445	51.345 €
Manejo combustible	1803	624,0	4992	6795	101.275 €
Equipos purificación	6472	1076,4	8611	15083	224.812 €
Equipos auxiliares	28122	1444,6	11557	39678	591.409 €
Equipos sanitarios	13714	2052,4	16419	30133	449.142 €
Varios	3162	24,0	192	3354	49.996 €
Total	74098	14207,1	113657	187755	2.798.503 €

Tabla 7. Costes de maquinaria auxiliar de propulsión

4.7. CARGOS Y RESPETOS

Cargos y respetos					
Partida	Coste (kPta)	Horas asociadas (h)	Coste trabajo (kPta)	Total (kPta)	Total (€)
No reglamentarios	102372	215,1	1721	104093	1.551.518 €
Total	102372	215,1	1721	104093,073	1.551.518 €

Tabla 8. Costes de cargos y respetos



4.8. INSTALACIONES ESPECIALES

Instalaciones especiales					
Partida	Coste (kPta)	Horas asociadas (h)	Coste trabajo (kPta)	Total (kPta)	Total (€)
Equipos científicos	290500	6400,0	51200	341700	5.093.073 €
Automatización y control	41500	1500,0	12000	53500	797.423 €
Posicionamiento dinámico	207500	3000,0	24000	231500	3.450.531 €
Quilla retráctil	24900	250,0	2000	26900	400.947 €
Total	564400	11150,0	89200	653600	9.741.973 €

Tabla 9. Costes de instalaciones especiales

4.9. RESUMEN

A continuación se van a mostrar los resultados obtenidos, resumidos tanto numérica como gráficamente para una mejor comprensión de los mismos, de tal manera que los valores, organizados por conceptos quedarían como sigue:

Resumen presupuesto					
Concepto	Coste (kPta)	Horas asociadas (h)	Coste trabajo (kPta)	Total (kPta)	Total (€)
Astillero	956720	0,0	0	956720	14.260.000 €
Casco	290647	194124,0	1552992	1843639	27.479.621 €
Equipo, armamento, instalaciones	354370	102743,8	821950	1176321	17.533.179 €
Maq. aux. de cubierta	55622	808,0	6464	62086	925.401 €
Instalación propulsora	265003	35591,0	284728	549730	8.193.785 €
Maq. aux. de propulsión	74098	14207,1	113657	187755	2.798.503 €
Cargos y respetos	102372	215,1	1721	104093	1.551.518 €
Instalaciones especiales	564400	11150,0	89200	653600	9.741.973 €
Total	2663231	358839,0	2870712	5533943	82.483.980 €

Tabla 10. Resumen presupuesto

Es decir, el coste total estimado del diseño y construcción del buque son aproximadamente 82.500.000 €, incluyendo todos los gastos asociados a la construcción, seguro y reglamentación asociada.



Se va a añadir a este valor un margen del 5% de beneficio para el astillero, que será presentado en el presupuesto, y es:

$$\text{Margen beneficio} = 0,05 \cdot 82.500.000 = 4.125.000 \text{ €}$$

Lo que daría un precio final de presupuesto:

Presupuesto total: 86.625.000€

Se desglosan a continuación las partidas gráficamente de la siguiente manera:

- Coste material
- Coste de horas de trabajo
- Coste total

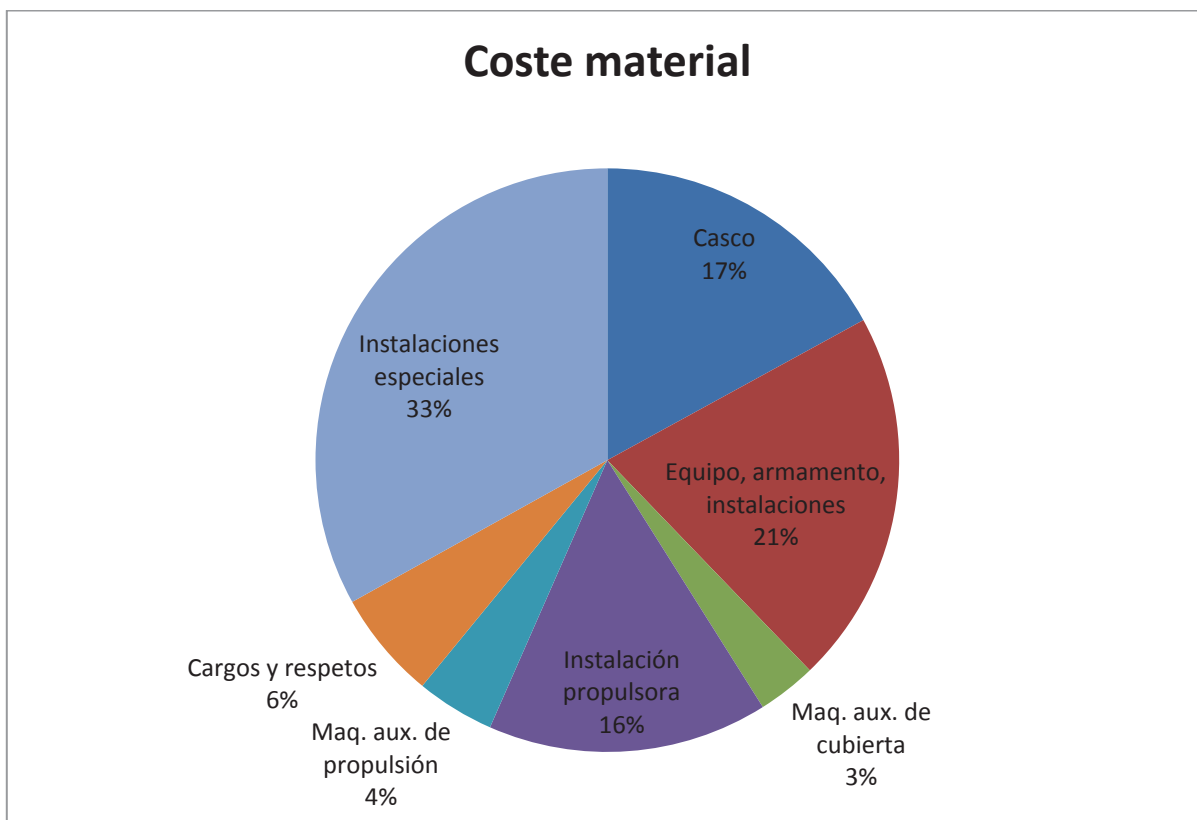


Figura 1. Coste material

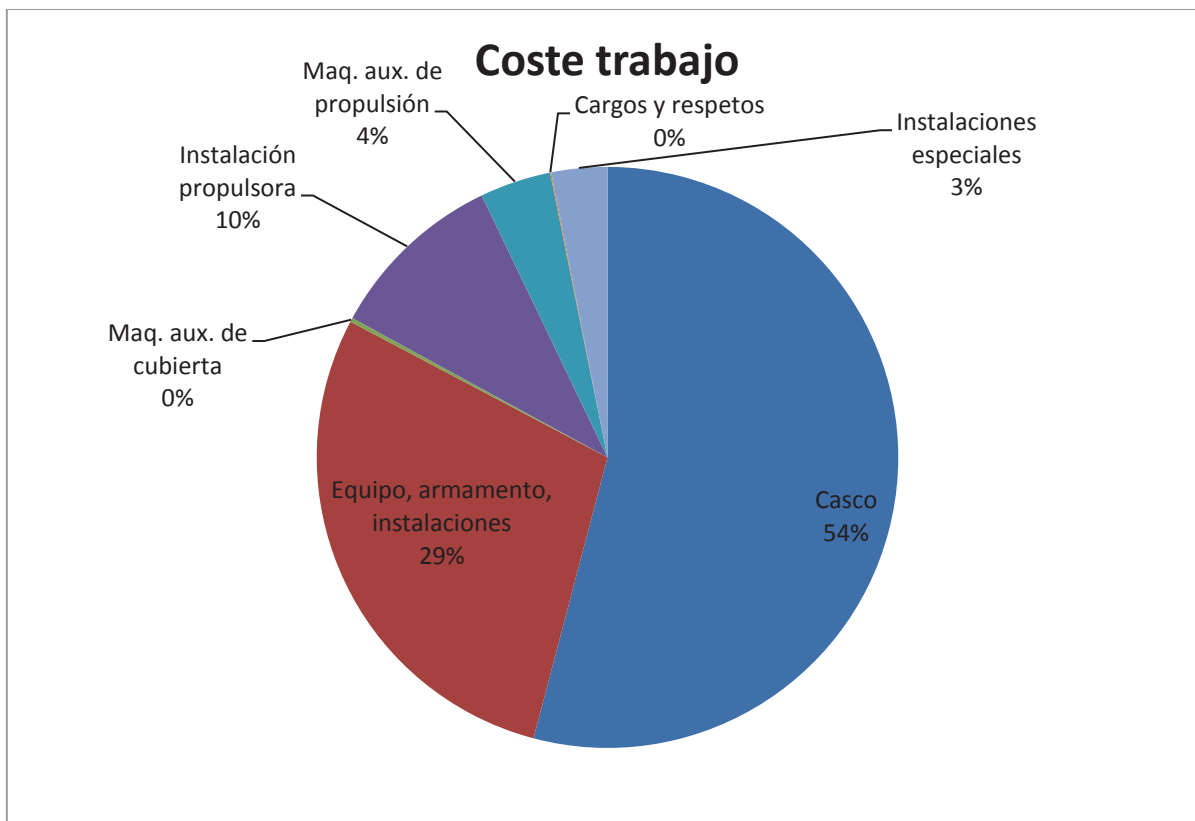


Figura 2. Coste trabajo

Se puede observar en las gráficas anteriores el mayor coste material es el referido a las instalaciones especiales, donde se incorporan muchos equipos y dispositivos de alta tecnología, como el equipamiento científico y dispositivos de control del buque.

Sin embargo, aunque el coste material del casco no es tan elevado respecto de los otros conceptos, las horas de trabajo asociadas a la estructura son más de la mitad del total de horas de construcción del buque, convirtiendo esta en la partida más importante, como se muestra en la gráfica siguiente de coste total.

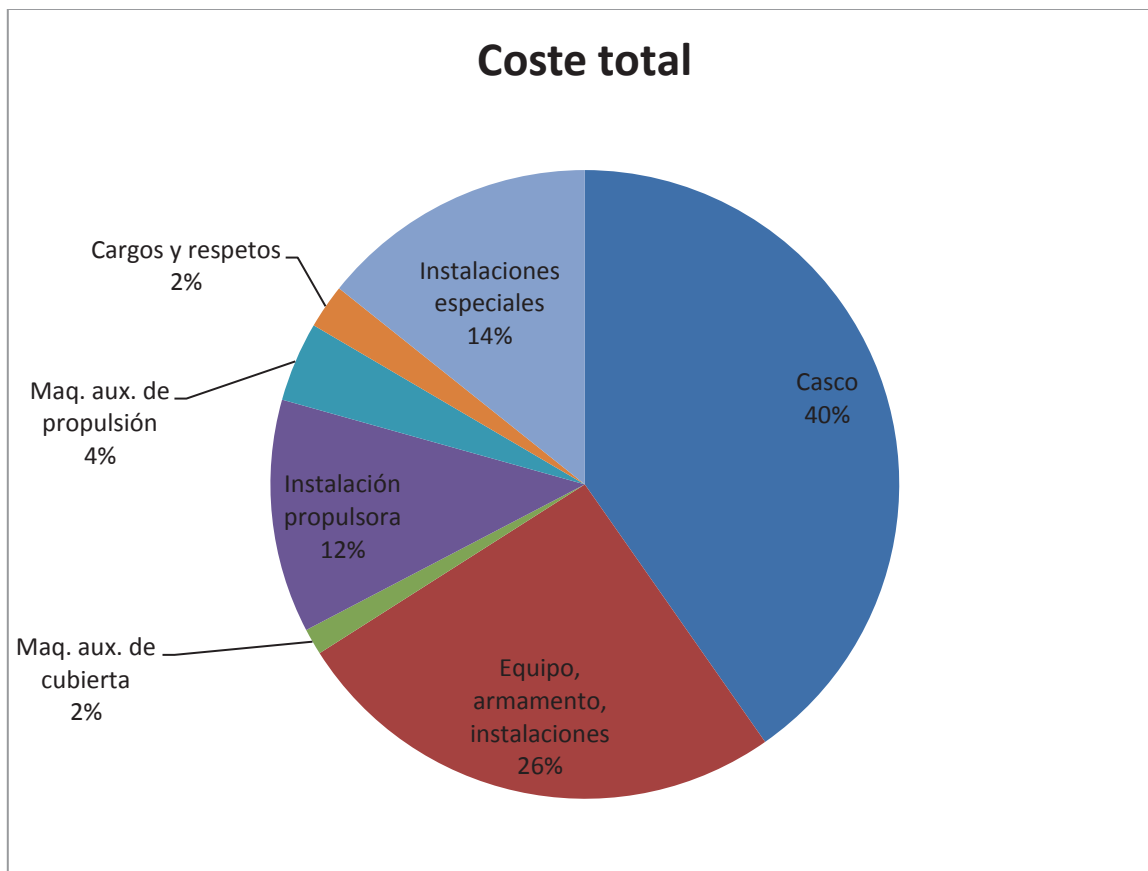


Figura 3. Coste total

Finalmente, para comprobar que el valor obtenido en el presupuesto no difiere mucho de lo que se estima en estos casos se va a comparar el precio en función de la eslora para otros buques oceanográficos construidos en los últimos años.

Presupuesto buques			
Buque	Año construcción	Eslora (m)	Precio
Angeles Alvariño	2011	46	20.000.000 €
RV para universidad Qatar	2010	39	30.000.000 €
Investigator	2014	94	85.000.000 €
Neil Armstrong	2014	73	50.000.000 €
Discovery	2011	100	103.000.000 €
James Cook	2007	90	95.000.000 €
PFC 252	2015	80	86.625.000 €

Tabla 11. Presupuestos buques oceanográficos

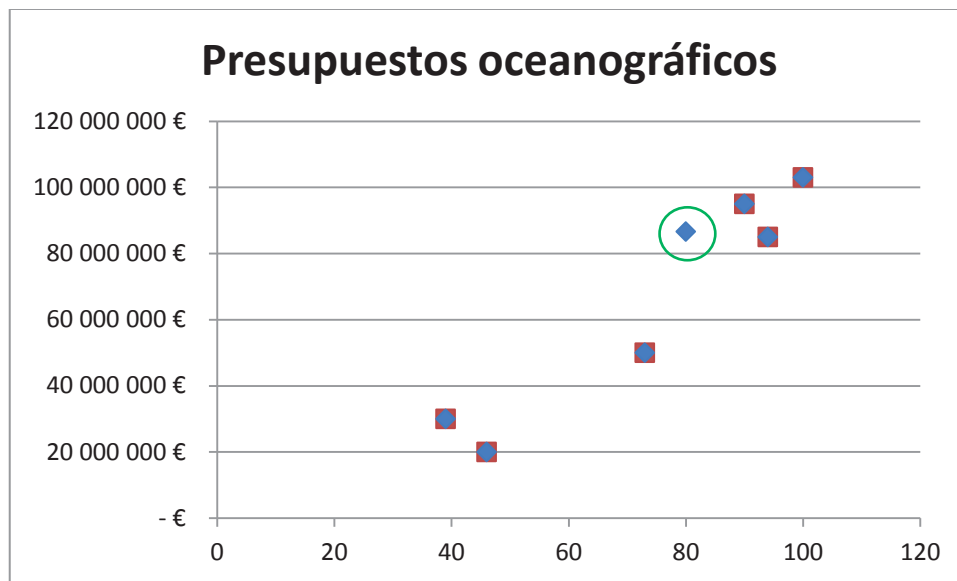


Figura 4. Comparativa presupuestos de buques oceanográficos

Como puede observarse, el presupuesto obtenido para el presente proyecto (punto azul en la gráfica) se encuentra dentro de la tendencia observada en este tipo de buques.



5. CONCLUSIONES

A lo largo de este cuaderno se han desglosado y estimado los diferentes conceptos y partidas implicados en el diseño y construcción del buque, tanto costes materiales como horas asociadas.

Se han ajustado los diferentes valores para adecuarlos a los precios actuales y se ha obtenido finalmente el presupuesto del buque.

Este presupuesto se distribuye de una forma esperada entre los diferentes conceptos, además, para una mayor seguridad de que el resultado obtenido está dentro de los límites esperados se ha hecho una recopilación de diferentes presupuestos en buques oceanográficos construidos en los últimos años, y en función de la eslora se ha demostrado que el presupuesto del presente proyecto se encuentra dentro de los valores esperados, siguiendo la línea de tendencia observada en dichos presupuestos.



6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MEIZOSO FERNÁNDEZ, MANUEL; ALVARIÑO CASTRO, RICARDO; AZPÍROZ AZPÍROZ, JUAN JOSÉ. *“El Proyecto Básico del Buque Mercante”*. Fondo Editorial de Ingeniería Naval, 1997
- [2] TORROJA MENÉNDEZ, JAIME. *“Apuntes proyectos, Volumen I”*. ETSIN, 1987



PROYECTO Nº 252

BUQUE OCEANOGRÁFICO

DE 7.000 T

Cuaderno extra

Estudio de posicionamiento
dinámico (DP II)

TUTOR: ELOY J. CARRILLO HONTORIA

ALUMNO: ALEJANDRO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	MÉTODO DE CÁLCULO	6
2.1.	ERN	6
2.2.	FUERZAS APLICADAS	6
2.2.1.	FUERZA DE CORRIENTE.....	7
2.2.2.	FUERZA DE VIENTO	7
2.2.3.	FUERZA DE OLAS.....	7
2.2.4.	RESUMEN FUERZAS	11
3.	EMPUJE PROPULSORES	15
3.1.	CASO INTACTO	15
3.2.	CASO FALLO SIMPLE SENCILLO	19
3.3.	CASO FALLO SIMPLE GRAVE	19
3.4.	CASO DE PEOR FALLO SIMPLE	20
3.5.	RESULTADO ERN	21
4.	CONCLUSIONES.....	22



INDICE DE FIGURAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Figura 1. RAO.....	8
	Figura 2. Espectros Jonswap, diferentes estados de mar	10
	Figura 3. Fuerza viento	11
	Figura 4. Fuerza corriente	12
	Figura 5. Fuerza olas.....	12
	Figura 6. Fuerzas ambientales.....	13
	Figura 7. Resultados olas, ERN 30	14
	Figura 8. Resultados olas, ERN 70	14
	Figura 9. Áreas y centro de áreas buque.....	15



INDICE DE TABLAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Tabla 1. Estados de mar según ERN	6
	Tabla 2. Valores RAO	8
	Tabla 3. Resumen fuerzas ambientales.....	11
	Tabla 4. Valores de η_1	15
	Tabla 5. Valores de η_2	16
	Tabla 6. Valores cálculo empuje propulsores	16
	Tabla 7. Empuje y momento de propulsores	17
	Tabla 8. Empuje y momento, fuerzas ambientales.....	18
	Tabla 9. Empuje y momento total.....	18
	Tabla 10. Empuje propulsores, fallo simple grave, momento de guiñada grande	19
	Tabla 11. Empuje propulsores, fallo simple grave, momento de guiñada reducido	20
	Tabla 12. Empuje propulsores, peor fallo simple.....	20



1. INTRODUCCIÓN

Si bien para el posicionamiento dinámico exigido (DP II) no resulta obligatorio el estudio del DP como va a realizarse a continuación, basándose en las sociedades de clasificación, se ha realizado dicho estudio para ayudar en el diseño de los propulsores de maniobra.

Se va a seguir el procedimiento descrito por el Det Norske Veritas, parte 6, capítulo 7 para el presente análisis, por haberse considerado más completo que el de otras sociedades de clasificación, pues al ser este estudio un apartado opcional no debe cumplir con nada en particular.

Debe entenderse este estudio como un anexo de apoyo y nunca como una condición restrictiva para el buque, por lo tanto se emplearán los resultados para tomar decisiones referentes a los sistemas propulsores pero el cumplimiento o no del criterio estipulado no garantiza el posicionamiento dinámico como tal, recomendándose en la propia normativa no usar este resultado como valor definitivo si no como mínimo no conservador que deberá ser comparado con otros estudios realizados a través de métodos más completos, si se tiene acceso a los mismos.



2. MÉTODO DE CÁLCULO

2.1. ERN

El proceso de cálculo consiste en hallar las diferentes fuerzas y puntos de aplicación sobre el buque, para comprobar que la propulsión puede hacer frente a las mismas.

Para este fin se da una tabla de valores para diferentes estados de la mar, identificándose cada uno con un número ERN (Environmental Regularity Number), que varía de 2,5 a 99 teniendo un valor de velocidad media de viento ($V1$), altura significativa de ola (H_s) y periodo (T_z) asociados como sigue:

Table B1 ern wind and wave statistics			
$P(H_s)=ern$	$V1(m/s)$	$H_s(m)$	$T_z(s)$
2.5	1.4	0.66	3.0
5	2.19	0.79	3.0
10	3.3	1	3.0
20	4.95	1.35	4.1
30	6.21	1.7	5.1
40	7.48	1.9	5.7
50	8.74	2.3	6.9
60	10.01	2.6	7.8
70	11.39	3	9.0
80	13.11	3.5	9.0
90	15.53	4.2	9.0
95	17.6	4.9	9.0
97.5	19.32	5.3	9.0
98	19.9	5.6	9.0
98.5	20.59	5.8	9.0
99	21.51	6.1	9.0

Tabla 1. Estados de mar según ERN

2.2. FUERZAS APLICADAS

Se van a considerar tres fuerzas diferentes aplicadas sobre el casco, la de corrientes, que actúa sobre la obra viva, la del viento, que actúa sobre la obra muerta, y la de olas que actúa sobre el buque, a la altura de la flotación.



2.2.1. FUERZA DE CORRIENTE

La fórmula que nos da el resultado de la fuerza sobre el casco debido a las corrientes es la siguiente:

$$F_c = \frac{1}{2} \cdot \rho_{agua} \cdot V_{viento}^2 \cdot C_{d,viento} \cdot A_{obra viva}$$

Tomando $C_{d,corriente} = 0,7$ y $\rho_{agua} = 1026 \text{ kg/m}^3$

La velocidad de corriente se toma como $0,75 \text{ m/s}^2$.

2.2.2. FUERZA DE VIENTO

Se calcula de forma similar:

$$F_c = \frac{1}{2} \cdot \rho_{aire} \cdot V_{viento}^2 \cdot C_{d,viento} \cdot A_{obra muerta}$$

Tomando $C_{d,viento} = 0,9$ y $\rho_{aire} = 1,226 \text{ kg/m}^3$

2.2.3. FUERZA DE OLAS

Para calcular la fuerza de olas debe calcularse previamente tanto la función densidad de frecuencia del espectro de olas $S(\omega)$ como el $RAO(\omega)$ ($ARO(\omega)$ por sus siglas en inglés) del buque.

$$F_{WAVE} = \int_{\omega=0}^{\infty} 2S(\omega)ARO(\omega)d\omega$$

El RAO se define como:

$$ARO(\omega) = \begin{cases} k, & \text{for } t < T_1 \\ \frac{k}{T_1 - T_2}(t - T_2), & \text{for } T_1 < t < T_2 \\ 0, & \text{for } t > T_2 \end{cases}$$
$$\omega = \frac{2\pi}{t}$$



$$\begin{aligned}T_1 &= 0.9T_{33} \\ T_{33} &= 2\pi \sqrt{\frac{1.8M}{C_{33}}} \\ C_{33} &= 9.81\rho_{WATER}A_{WL} \\ T_{2a} &= 1.22T_{33} \\ T_{2b} &= \sqrt{\frac{8\pi B}{9.81}} \\ T_2 &= \max(T_{2a}, T_{2b}) \\ k &= 0.5\rho_{WATER}9.81L\end{aligned}$$

Se resuelve en una hoja de cálculo obteniéndose los siguientes valores:

Valores para RAO		
Parámetro	Valor	Unidades
T1	5.60	s
T33	6.23	s
C33	12826.01	-
M	7000	t
Awl	1274.31	m2
rho w t	1.026	t/m3
rho w kg	1026	kg/m3
T2a	7.60	s
T2b	6.82	s
T2	7.60	s
k	402602.40	-

Tabla 2. Valores RAO

El RAO va a calcularse hasta una frecuencia de 1,5 rad/s, y queda de esta forma la siguiente gráfica, que es un valor dependiente de las formas del buque y no variará para las diferentes situaciones:

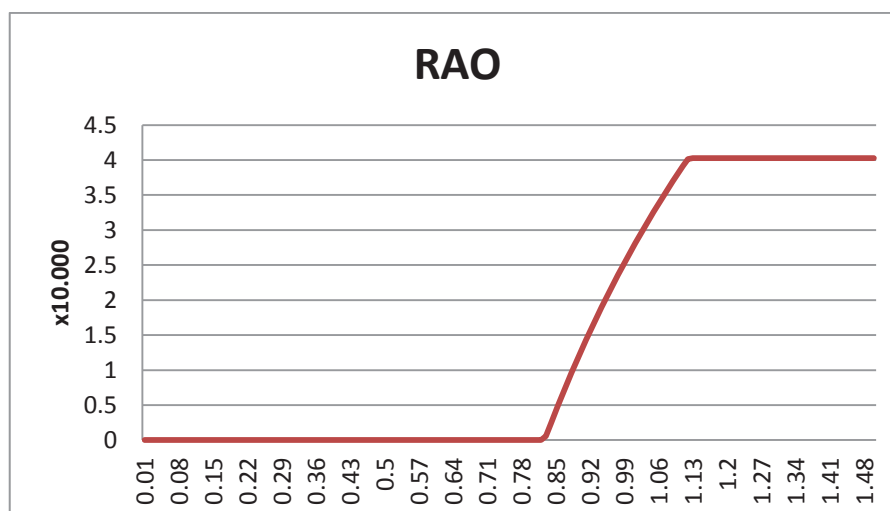


Figura 1. RAO



El siguiente paso es calcular el espectro de olas, se va a aplicar la distribución de Jonswap, con los valores:

$$\gamma = 3,3$$

$$\sigma_a = 0,07$$

$$\sigma_b = 0,09$$

Y el periodo $T_p = 1,286 \cdot T_z$

Para el cálculo del espectro de Jonswap se calcula primero el espectro Pierson-Moskovitz:

$$S_{PM}(\omega) = \frac{5}{16} \cdot H_s^2 \omega_p^4 \cdot \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^4\right)$$

$$\omega_p = 2\pi/T_p$$

Y el de Jonswap:

$$S_J(\omega) = A_\gamma S_{PM}(\omega) \gamma^{\exp\left(-0.5 \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p}\right)^2\right)}$$

$$\begin{aligned}\sigma &= \sigma_a \text{ for } \omega \leq \omega_p \\ \sigma &= \sigma_b \text{ for } \omega > \omega_p\end{aligned}$$

$$A_\gamma = 1 - 0.287 \ln(\gamma) \text{ is a normalizing factor.}$$

Se muestran en la gráfica siguiente, los diferentes resultados del espectro de olas obtenido para los valores asociados a cada ERN:

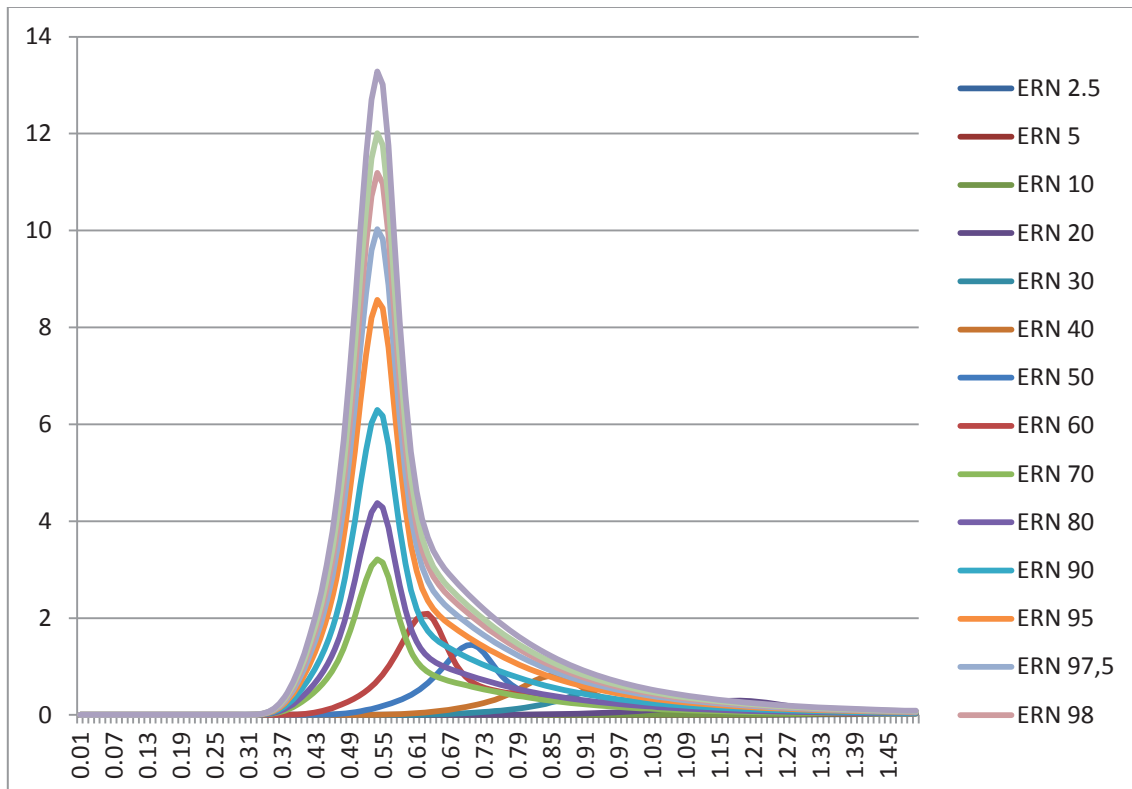


Figura 2. Espectros Jonswap, diferentes estados de mar

Con estos valores se calculan las diferentes fuerzas a las que se ve sometido el buque en la condición más severa, es decir con el viento de través.

2.2.4. RESUMEN FUERZAS

Se resumen a continuación las fuerzas obtenidas como se ha expuesto.

Fuerzas							
ern	V1 (m/s)	Hs (m)	Tz (s)	F viento (kN)	F corriente (kN)	F olas (kN)	F total (kN)
2.5	1.4	0.66	3	0.61	105.33	18.09	124.02
5	2.19	0.79	3	1.48	105.33	25.91	132.72
10	3.3	1	3	3.36	105.33	41.52	150.21
20	4.95	1.35	4.1	7.57	105.33	157.64	270.54
30	6.21	1.7	5.1	11.91	105.33	184.49	301.73
40	7.48	1.9	5.7	17.29	105.33	152.54	275.15
50	8.74	2.3	6.9	23.60	105.33	152.54	281.46
60	10.01	2.6	7.8	30.96	105.33	115.39	251.67
70	11.39	3	9	40.08	105.33	99.20	244.61
80	13.11	3.5	9	53.10	105.33	248.60	407.02
90	15.53	4.2	9	74.51	105.33	362.32	542.16
95	17.6	4.9	9	95.70	105.33	329.31	530.33
97.5	19.32	5.3	9	115.32	105.33	318.73	539.38
98	19.9	5.6	9	122.35	105.33	388.55	616.22
98.5	20.59	5.8	9	130.98	105.33	416.80	653.10
99	21.51	6.1	9	142.95	105.33	461.03	709.30

Tabla 3. Resumen fuerzas ambientales

Se representan gráficamente las diferentes fuerzas:

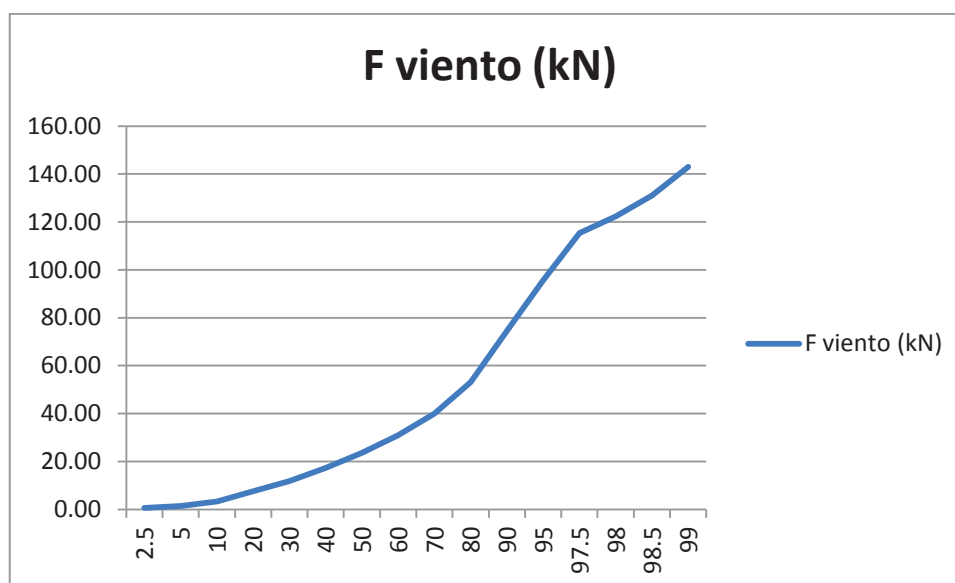


Figura 3. Fuerza viento

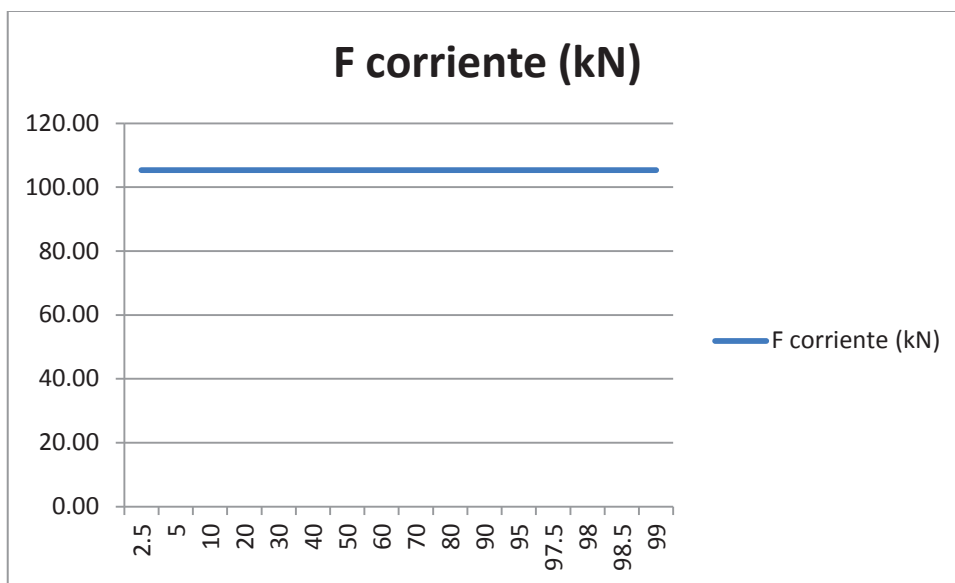


Figura 4. Fuerza corriente

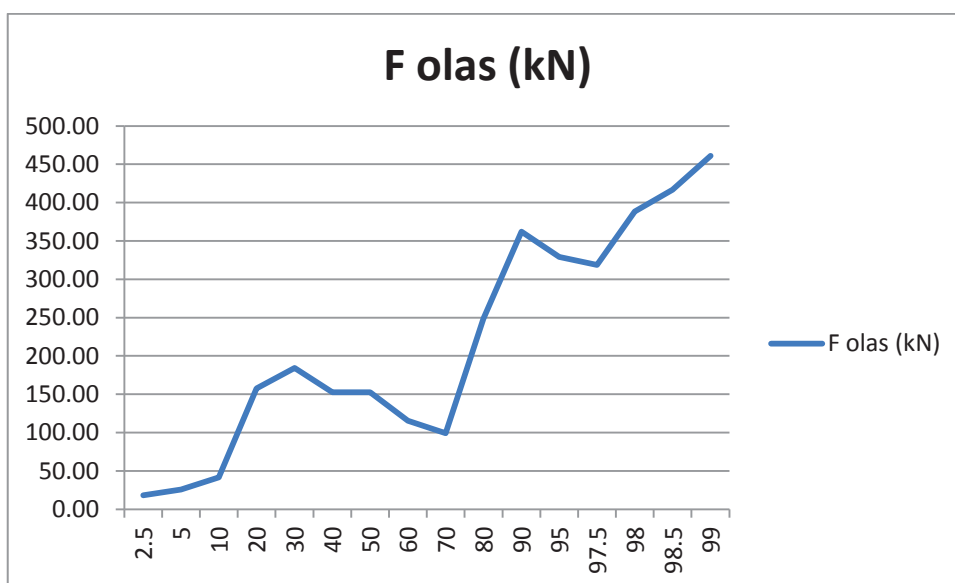


Figura 5. Fuerza olas

Que al sumarse nos darán la fuerza total a la que el buque se ve sometido.

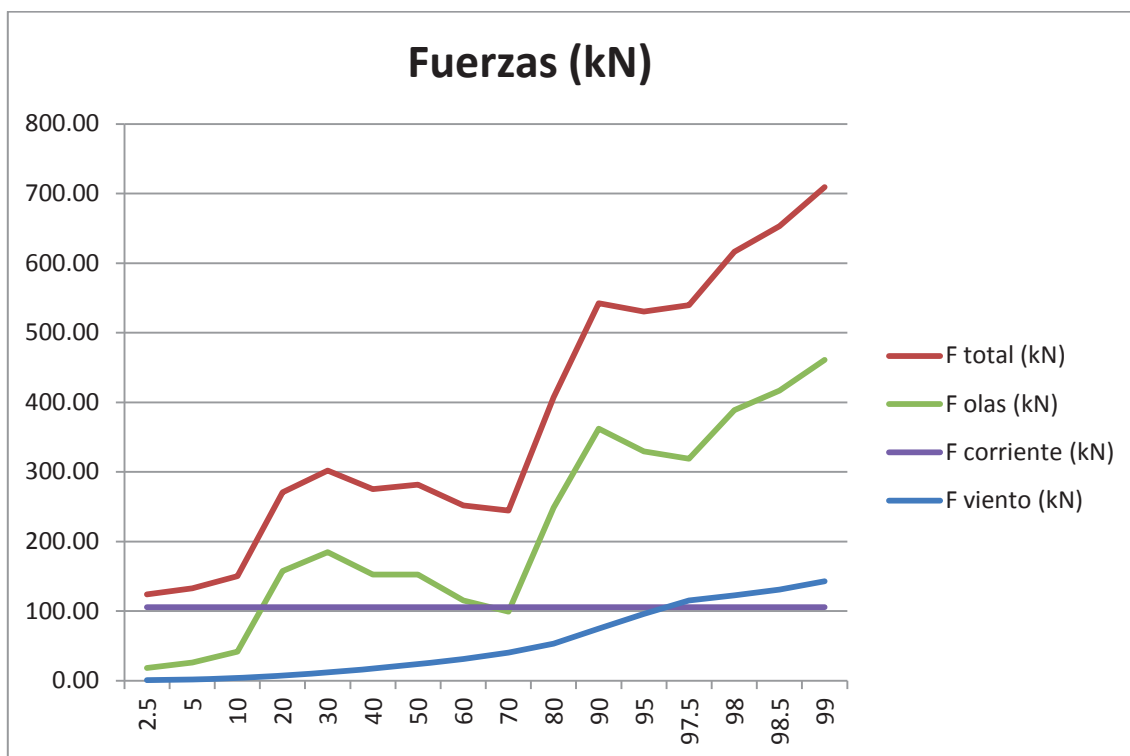


Figura 6. Fuerzas ambientales

Como se puede observar hay un mínimo relativo en el valor de ERN 70, lo que se debe a la fuerza del oleaje, puesto que depende del producto del RAO por el espectro, y si bien el RAO es fijo, el espectro tiene una característica al aumentar los valores del oleaje:

Si la altura significativa de ola aumenta el valor de la distribución del espectro de olas aumenta la magnitud de su fuerza “manteniéndose en su posición”, es decir crece en el eje vertical pero el horizontal se mantiene igual.

Sin embargo, un aumento del periodo tiene un efecto doble, si bien aumenta el valor de la fuerza, también desplaza en el eje horizontal hacia la izquierda el resultado, ocasionando de esta manera un producto entre RAO y distribución menor del esperado.

Para ilustrar esto se muestra el ejemplo de ERN 30 y ERN 70:

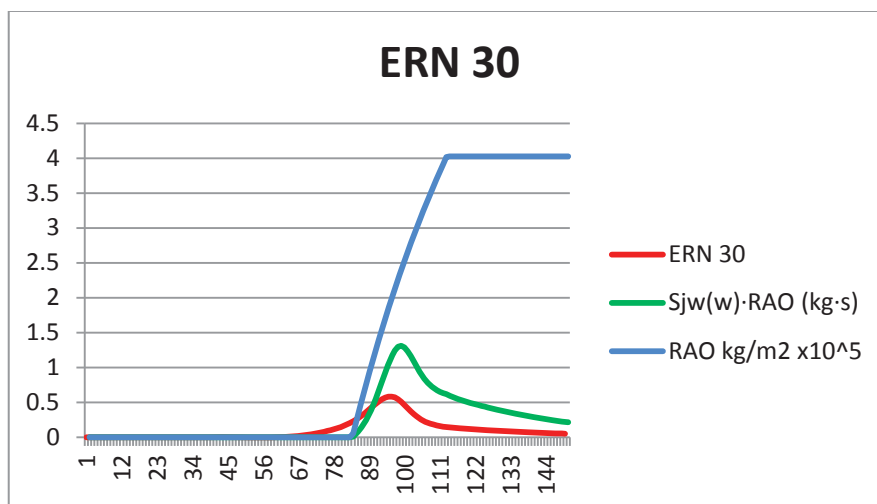


Figura 7. Resultados olas, ERN 30

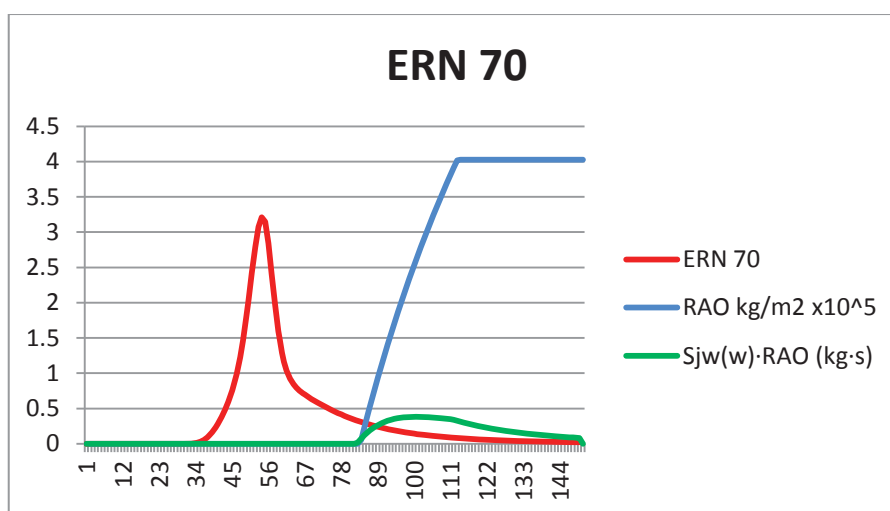


Figura 8. Resultados olas, ERN 70

Como se puede observar la magnitud de la fuerza de olas, representada en rojo en las gráficas es notablemente superior para el caso de ERN 70, pero por otra parte se encuentra tan alejada del RAO del buque que el producto de ambos valores genera un área mucho menor, a pesar de ser condiciones algo más severas.

Si bien esto podría ocurrir en la realidad, ya que a veces olas muy grandes ocasionan menos movimiento en un buque de gran tamaño que olas más pequeñas pero cercanas a la frecuencia de resonancia, no se considera, como se explicó al comienzo del cuaderno, un método cierto para evaluar la capacidad de posicionamiento dinámico del buque de forma cuantitativa, ofreciendo sin embargo una idea de la respuesta del buque y permitiendo orientar algunas decisiones del diseño.

3. EMPUJE PROPULSORES

3.1. CASO INTACTO

Ya se ha calculado la fuerza total que se aplicará sobre el buque, y a este respecto solo falta definir los puntos sobre los que se aplicará para poder calcular posteriormente los momentos generados. Como ya se explicó sobre la obra viva actúa la fuerza debida a las corrientes, y sobre la obra muerta, la del viento.

Se va a definir el punto de actuación de las olas como el centro de gravedad del buque, definido en el proyecto.

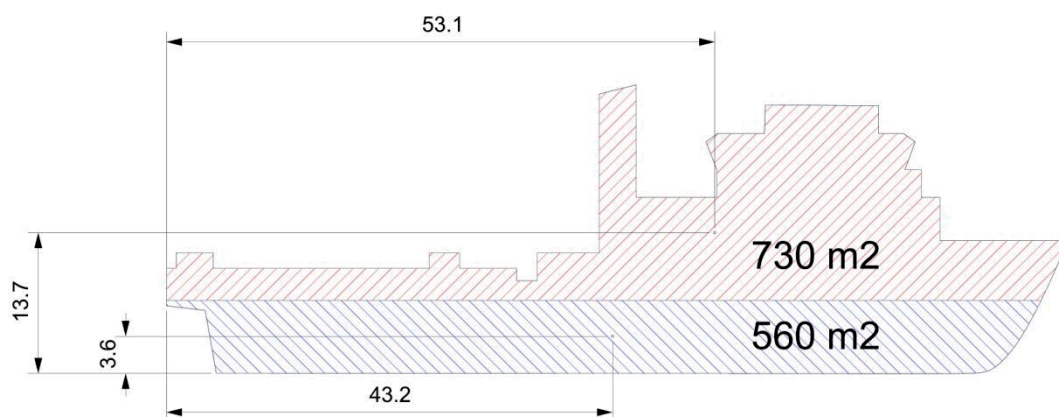


Figura 9. Áreas y centro de áreas buque

En cuanto a los propulsores, se sabe que el empuje efectivo T_{eff} es el producto del empuje nominal T_{nom} por el factor de pérdida de empuje β_t .

El empuje nominal se calcula como:

$$T_{Nominal} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 (D \times P)^{2/3}$$

Donde D es el diámetro del propulsor y P la potencia entregada a la hélice (DHP).

El valor β_t se toma como 0,9 y los valores de η_1 η_2 se obtienen de las siguientes tablas

	η_1
Azimuths, pods and shaft line propellers	800
Tunnel thrusters	900
Contra-rotating propellers	950
Ducted azimuths, pods and shaft line propellers	1200

Tabla 4. Valores de η_1



	η_2
Tunnel thrusters	1.0
Forward thrust from other type of thrusters with and without duct	1.0
Reversed thrust from other type of thrusters without duct	0.9
Reversed thrust from other type of thrusters with duct	0.7

Tabla 5. Valores de η_2

η_3 se asume como 0,7.

Finalmente, el rendimiento mecánico r_m , para convertir BHP a DHP se asume como 0,93 para todos los sistemas.

Se obtiene el siguiente resultado de empuje efectivo para los propulsores:

Propulsores						
Parámetro	Principal Br	Principal Er	Proa Pp	Proa Pr	Secundario	Unidades
Teff	59.65	59.65	93.07	93.07	92.52	kN
Tnom	60.87	60.87	94.97	94.97	290.27	kN
η_1	800	800	900	900	900	-
η_2	1	1	1	1	1	-
η_3	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	-
D	1.8	1.8	1.99	1.99	4.3	m
P	629.517	629.517	930	930	2300	kW
BHP	676.9	676.9	1000	1000	2875	kW
r_m	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	-
β_t	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	-

Tabla 6. Valores cálculo empuje propulsores

Para el cálculo del posicionamiento dinámico se van a emplear los propulsores principales y transversales al 100 % de su potencia, y en primera instancia se van a comprobar tres factores:

- El momento final generado y su punto de aplicación, para evitar que el buque rote sobre un eje vertical que pase por el centro de gravedad.
- La capacidad eléctrica del buque para soportar dicha situación.
- El estado de mar más crítico al que el buque puede hacer frente, con los cuatro propulsores operativos.



Para el primer punto se calcula, con una carga en los propulsores del 100%, con el propulsor secundario desconectado, el empuje y momento total generados, obteniéndose lo que se recoge a continuación:

Empuje y momento, propulsores				
Propulsor	Carga (%)	T (kN)	d (m)	T·d (kN·m)
Principal Br	1	59.65	-38.5	-2296.47
Principal Er	1	59.65	-38.5	-2296.473
Secundario	0	0.00	-16.4	0
Proa Pp	1	93.07	27.5	2559.31
Proa Pr	1	93.07	30.5	2838.51
SUMA	-	305.43	-	804.88

Tabla 7. Empuje y momento de propulsores

El punto de aplicación resultante, respecto del centro de gravedad del buque resulta:

$$X_{prop} = 808,9/305,4 = 2,64 \text{ m}$$

La carga eléctrica, en un escenario oceanográfico como el definido, y con los 6 grupos generadores funcionando, resultaría 84,6%, luego se puede hacer frente a dicha situación.

Se comprueba ahora a qué situación podría hacer frente como mucho, obteniéndose de los valores calculados en apartados anteriores un ERN 70, cuyas condiciones ambientales son: olas de 3 metros de altura significativa y un periodo de 9 segundos, así como 11,39 m/s de velocidad del viento.

Para esta situación, el empuje necesario es 244,6 kN con que el empleo de los propulsores al 100% sería excesivo y podría estudiarse esta situación en un mar menos severo, sin embargo, debido a la fuerza generada por las olas, la situación teóricamente más compleja de vencer sería ERN 30, cuya fuerza total asociada es de 301,7 kN.

Se demostrará para este ERN 30 que el buque puede mantener su posición por ser la situación teórica más crítica, si bien no será la que se emplee para definir la notación de DP del buque.



Se calcula ahora la fuerza y momento para ERN 30:

Empuje y momento, fuerzas ambientales			
Fuerza	F (kN)	d (m)	F·d
Viento	11.91	9.8	116.76
Corriente	105.33	-0.1	-10.53
Olas	184.49	-5.5	-1014.71
SUMA	301.73	-	-908.48

Tabla 8. Empuje y momento, fuerzas ambientales

El punto de aplicación de las fuerzas ambientales quedará entonces:

$$X_{fzas} = -908,5/301,7 = -3,01 \text{ m}$$

Conociendo estos valores se calcula el punto resultante de aplicación.

Empuje y momento total			
Parámetro	Empuje (kN)	d (m)	E·d (kN·m)
Propulsores	305.43	2.64	804.88
Fuerzas ambientales	301.73	-3.01	-908.48
Suma	607.16	-	-103.61

Tabla 9. Empuje y momento total

$$X_{total} = -103,6/607,2 = -0,17 \text{ m}$$

Luego el buque no rotará, pues el punto de aplicación resulta muy cercano al centro de gravedad, y cualquier situación inferior se podrá gestionar con una variación de carga de los propulsores. Adicionalmente, en este caso al disponerse de propulsores acimutales a popa, estos podrían también orientarse para corregir los momentos de escora si fuese necesario, e incluso se plantea el uso del propulsor secundario en carga baja como medida adicional si fuese necesario ofrecer algo de empuje adicional en la zona de popa.

Al haberse demostrado el punto anterior queda confirmado que para ERN de hasta 70, y de acuerdo a lo calculado, el buque es capaz de mantener su posición.



3.2. CASO FALLO SIMPLE SENCILLO

De acuerdo a la normativa, se debería calcular ahora el máximo ERN que sería capaz de hacer frente el buque en el fallo simple de propulsor más simple, esto es, con el propulsor que menos empuje genere estropeado, que sería en este caso uno de los acimutales principales de popa, sin embargo en este caso podría activarse el propulsor secundario en popa, al 60% de su potencia, de esta manera se conseguiría obtener el mismo resultado que en el caso anterior, con la única desventaja de que los grupos generadores estarían trabajando al 97,5% de su capacidad.

Se tendría entonces capacidad para afrontar un mar equivalente a ERN 70.

3.3. CASO FALLO SIMPLE GRAVE

Este caso es igual, pero el fallo ocurrirá en el propulsor transversal más a proa.

Si el resto de propulsores se mantuviesen al 100% (salvo el secundario que estaría desconectado) se tendría el siguiente resultado:

Empuje propulsores				
Propulsor	Carga (%)	T (kN)	d (m)	T·d (kN·m)
Principal Br	1	59.65	-38.5	-2296.47371
Principal Er	1	59.65	-38.5	-2296.47371
Secundario	0	0.00	-16.4	0
Proa Pp	1	93.07	27.5	2559.3126
Proa Pr	0	0.00	30.5	0
SUMA	-	212.36	-	-2033.63

Tabla 10. Empuje propulsores, fallo simple grave, momento de guiñada grande

Es decir un empuje de 212,4 kN, que podría aumentarse hasta 249,4 kN usando el propulsor secundario al 40%, sin embargo en ambos casos existiría un inconveniente: el punto de aplicación de las fuerzas se situaría a 5,7 m a popa del centro de gravedad o 6,44 m si se usa el secundario, esto induciría un movimiento de guiñada en el buque nada deseable.

Por lo tanto va a definirse una situación en la que la palanca de aplicación de las fuerzas sea menor.

Finalmente, con los propulsores principales al 50% y el transversal de proa al 100% se obtienen los siguientes valores:



Empuje propulsores				
Propulsor	Carga (%)	T (kN)	d (m)	T·d (kN·m)
Principal Br	0.5	29.82	-38.5	-1148.23685
Principal Er	0.5	29.82	-38.5	-1148.23685
Secundario	0	0.00	-16.4	0
Proa Pp	1	93.07	27.5	2559.3126
Proa Pr	0	0.00	30.5	0
SUMA	-	152.71	-	262.84

Tabla 11. Empuje propulsores, fallo simple grave, momento de guiñada reducido

Lo que se traduce en una palanca mucho menor, estando el punto de aplicación a 1,4 metros a popa del centro de gravedad.

En cualquier de ambos casos igualmente el resultado sería la capacidad de afrontar las condiciones del mar considerado para ERN 10, con olas de 1 metro de altura significativa y 3 segundos de periodo y una velocidad del viento de 3,3 m/s.

3.4. CASO DE PEOR FALLO SIMPLE

Representa el peor fallo simple que puede ocurrir, en nuestro caso, como se ha dividido la cámara de máquinas en dos locales independientes se va a estudiar el fallo de una de las mismas. Si cumple esta situación este buque podría ser modificado para cumplir con la notación de clase DP III, en caso de que el armador por ejemplo tuviese interés en tal cosa.

Inutilizando una cámara de máquinas la potencia eléctrica se verá inevitablemente reducida a la mitad, con que se van a usar los propulsores también a la mitad de su potencia, para mantener el buque bajo niveles de carga normales, se ajustarán a un nivel de carga algo mayor o menor para evitar la rotación del buque.

El resultado obtenido es el siguiente:

Empuje propulsores				
Propulsor	Carga (%)	T (kN)	d (m)	T·d (kN·m)
Principal Br	0.45	26.84	-38.5	-1033.41317
Principal Er	0.45	26.84	-38.5	-1033.41317
Secundario	0	0.00	-16.4	0
Proa Pp	0.6	55.84	27.5	1535.58756
Proa Pr	0.5	46.53	30.5	1419.25517
SUMA	-	156.06	-	888.02

Tabla 12. Empuje propulsores, peor fallo simple



Con un punto de aplicación 0,04 m a popa del centro de gravedad, es decir un momento de giro casi nulo, esto se ha buscado mediante el ajuste de la carga de los propulsores para evitar el movimiento de guiñada.

Por lo tanto se tendría el mismo escenario que el caso anterior, un ERN 10.

3.5. RESULTADO ERN

Habiéndose calculado los cuatro escenarios de fallo puede definirse el número ERN, que será aquel que describa, de acuerdo a la sociedad de clasificación, la notación DP del buque. Dicho número se compone de cuatro cifras.

La primera es el ERN para la condición de buque sin averías, la segunda el ERN para el caso de avería simple sencilla, la tercera el ERN para el caso de avería simple grave, y la última el ERN para el caso de peor fallo simple.

En nuestro caso obtendríamos el siguiente ERN:

ERN (70,70,10,10)



4. CONCLUSIONES

Como se dijo al principio del cuaderno, el estudio aquí realizado no es obligatorio para una clase de notación DP II, sin embargo los cálculos hechos valen como prueba para demostrar que el buque diseñado es capaz de mantener la posición en condiciones de mar moderadas, de acuerdo a la sociedad de clasificación elegida.

Debe notarse sin embargo, que este método no es realmente exacto y sus valores pueden llegar a distar de la realidad, siendo su utilidad principal la definición de la clase de notación del buque.

Por ello, además de haberse utilizado los resultados aquí obtenidos para redefinir los propulsores transversales de proa en el cuaderno 6, a fin de tener una mayor capacidad de posicionamiento dinámico, se ha obtenido también un número: ern (environmental regularity number), que permitiría, en caso de que se decidiese hacer, facilitar la obtención de notación de clase DYNPOS-AUTR al buque, notación algo más estricta que la DP II simple que incorpora el proyecto, e incluso podría estudiarse la obtención de la notación DYNPOS-AUTRO, equivalente al DP III simple, pero con notación DYNPOS.

Esta podría ser por tanto una opción a tener en cuenta en sucesivas vueltas de la espiral de proyecto, si se considerase ventajosa la obtención de dicha notación.



PROYECTO Nº 252

BUQUE OCEANOGRÁFICO

DE 7.000 T

Cuaderno 14

Memoria final

TUTOR: ELOY J. CARRILLO HONTORIA

ALUMNO: ALEJANDRO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ



INDICE DE CONTENIDOS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	DIMENSIONAMIENTO.....	6
3.	FORMAS	7
4.	DISPOSICIÓN GENERAL.....	10
5.	CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL.....	11
6.	DISEÑO DEL PROPULSOR.....	13
7.	PLANTA PROPULSORA Y CÁMARA DE MÁQUINAS	16
8.	EQUIPOS Y SERVICIOS.....	17
9.	PLANTA ELÉCTRICA	18
10.	RESISTENCIA ESTRUCTURAL	19
11.	PESO EN ROSCA Y CENTRO DE GRAVEDAD.....	20
12.	SITUACIONES DE CARGA	21
13.	PRESUPUESTO.....	25
14.	ESTUDIO DE POSICIONAMIENTO DINÁMICO.....	28
15.	CONCLUSIONES.....	29



INDICE DE FIGURAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Ilustración 1. Áreas deriva sin quillote	8
	Ilustración 2. Áreas deriva con quillote	8
	Ilustración 3. Curva de áreas	8
	Ilustración 4. Vista proa estribor, modelo 3D	9
	Ilustración 5. Curvas hidrostáticas	11
	Ilustración 6. Curvas GZ, estabilidad intacta calado máximo.....	12
	Ilustración 7. Marcas de francobordo	12
	Ilustración 8. Resultados Holtrop & Mennen.....	13
	Ilustración 9. Vista popa estribor, propulsores posición propulsores azimutales	14
	Ilustración 10. Schottel Pump-Jet	14
	Ilustración 11. Grupo generador, Caterpillar C32	16
	Ilustración 12. Distribución peso acero continuo, longitudinal y transversal	20
	Ilustración 13. Curvas GZ, estabilidad intacta salida puerto 100% consumos.....	21
	Ilustración 14. Resistencia longitudinal, llegada puerto 10% consumos	23
	Ilustración 15. Esfuerzo cortante, llegada puerto	24
	Ilustración 16. Momento flector, llegada puerto	24
	Ilustración 17. Distribución porcentual, costes buque	26
	Ilustración 18. Comparativa presupuesto buques oceanográficos.....	27



INDICE DE TABLAS

<i>Capítulo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Página</i>
	Tabla 1. Valores iniciales dimensionamiento	6
	Tabla 2. Criterios estabilidad intacta, calado máximo	12
	Tabla 3. Criterios aplicación Holtrop & Mennen.....	13
	Tabla 4. Características geométricas de propulsor principal	15
	Tabla 5. Resumen cargas, todas las situaciones.....	18
	Tabla 6. Peso en rosca y c. de g.....	20
	Tabla 7. Criterios estabilidad intacta, salida de puerto.....	22
	Tabla 8. Criterio de viento severo y balance, salida puerto	22
	Tabla 9. Resultados método probabilista.....	22
	Tabla 10. Resumen presupuesto	25
	Tabla 11. Comparativa presupuesto buques oceanográficos	26
	Tabla 12. Comparación resultados frente a requisitos	29



1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se recogen, de forma resumida, los puntos más importantes o representativos del anteproyecto del buque desarrollado. Para tal fin se presentará la información ordenada por cuadernos, con la misma numeración que se ha usado en el proyecto.

Al comienzo del proyecto se proporcionaron las especificaciones que el buque diseñado debe cumplir, y son las que se detallan seguidamente:

Tipo de Buque: **BUQUE OCEANOGRÁFICO**

Capacidad: **25 tripulantes + 50 personal científico**

Características:

- Calado máximo 7,2 m
- Desplazamiento 7000 t
- Velocidad máxima 15 kn (90% MCR)
- Velocidad económica 11 kn
- Autonomía (vel. econ.) 20000 mn
- Propulsión Diesel-eléctrica con capacidad DPII
- Superficie zona científica >1000 m² (incluye cubierta y hangar trabajo)
- Superficie laboratorios >120 m²

- Equipamiento mínimo de cubierta:
 - Pórtico de popa con capacidad mínima de 20t
 - 5 Grúas de las siguientes características:
 - 2 de capacidad 15t a 15m
 - 2 de capacidad 3t a 15 m
 - 1 telescópica de 0,5t a 22 m

Sociedad de Clasificación: **BV**

Reglamentos: **SOLAS + MARPOL + exigibles a este tipo de buques.**

A continuación se procede a comprobar el cumplimiento de dichas especificaciones, así como la viabilidad del buque y cuáles serían las posibles mejoras a implementar en sucesivas vueltas a la espiral del proyecto.



2. DIMENSIONAMIENTO

En primera instancia se ha realizado una labor de investigación y documentación referente a la flota existente de este tipo de buques, que conforma un pequeño porcentaje de la flota mundial de buques de todo tipo, siendo una minoría frente a buques mercantes de carga, tanto líquida como sólida, o incluso frente a buques de apoyo, que parecen haber experimentado un auge en los últimos años.

Si bien es cierto que este último hecho ha resultado de provecho para el presente caso, pues las formas del casco de los buques “supply” y los buques oceanográficos son tan semejantes que en algunos casos han llegado a convertirse buques, que a priori eran puramente de apoyo, a buques de investigación oceanográfica, valga como ejemplo el buque geofísico GSO MARECHAL RONDON.

Por esta razón se realizó una base de datos incluyendo, además de buques oceanográficos, buques de apoyo a plataformas (OSV), con lo que se logró realizar una serie de regresiones estadísticas que nos permitieran conocer la relación de las dimensiones que trabajan estos buques, de tal manera que podamos estimar unas dimensiones acordes con la realidad a partir de los requisitos de proyecto.

Tras realizar diferentes alternativas se decidió incluir en el cuaderno la más conservadora, es decir la que menos se alejaba de los estándares para este tipo de buques.

Seguidamente, y mediante las fórmulas adecuadas, se estimaron los coeficientes de forma y el peso en rosca del buque, así como la posición de su centro de gravedad.

Finalmente, se hizo un primer cálculo del francobordo de verano, parámetro que, entre otras cosas, nos sirve como indicador de la estabilidad del buque.

En la tabla siguiente se muestran resumidos los valores iniciales de las dimensiones y formas del buque:

Valores iniciales		
Parámetro	Valor	Unidades
Lbp	79.5	m
B	17.9	m
T	7.2	m
Disp	7000	t
Cb	0.67	-
Cm	0.979	-
Cp	0.681	-
Cwp	0.787	-

Tabla 1. Valores iniciales dimensionamiento



3. FORMAS

Una vez definidas las dimensiones y coeficientes de formas del buque, se trabaja en la generación de las formas del proyecto que se ajusten, lo máximo posible, a dichos valores.

Sin embargo durante el diseño de las formas se tendrán en cuenta diferentes consideraciones y alternativas. Para tal fin se divide el cuerpo del buque en tres partes, la zona de proa, la zona central y la zona de popa.

- Zona de proa:

Es importante que el semiángulo de entrada a la flotación sea reducido para evitar un aumento de resistencia al avance, sin embargo un ángulo de entrada muy pequeño podría ser contraproducente, además de restar demasiado espacio útil en el interior del buque, y precisamente se ha intentado optimizar el espacio interior al máximo para evitar sobredimensionar el buque, con los gastos añadidos que eso conlleva. Como el buque se considera lento, la resistencia por formación de olas es igualmente menor con lo que este punto no es prioritario, si bien resulta recomendable optimizarlo.

El primer asunto importante que se estudió referente a las formas de proa fue la inclusión o no de un bulbo de proa. Después de considerarse algunos parámetros recomendados para ello, se decidió que la inclusión de un bulbo de proa no aseguraba una ventaja frente a la ausencia de este. Además el bulbo tiene la desventaja del aumento de ruidos y vibraciones que genera lo que, en buques de investigación oceanográfica puede resultar notablemente contraproducente.

Las formas de entrada se han diseñado con abanico para mejorar el comportamiento en la mar, y en “V” para disminuir la resistencia al avance.

- Zona central:

Una característica común a esta clase de buques es la ausencia de cuerpo cilíndrico, aunque las cubiertas se tratarán de mantener siempre la manga máxima para amplificar todo lo posible la superficie útil interior, así pues la pared plana del costado del buque será grande.

- Zona de popa:

Es importante que la reducción de área transversal hacia popa sea suave para evitar desprendimientos de flujo, así como el ángulo de la línea longitudinal de crujía, que marcará las formas.

También se ha tenido en cuenta que van a instalarse dos propulsores en popa, con lo que ha

tratado de simplificarse el montaje y operación de dichos sistemas mediante unas secciones tipo “U”.

Además, el buque se ha diseñado con popa de espejo, de tal manera que en la condición de máxima carga apenas haya popa mojada.

Como punto final, debido a que el área de deriva de proa (área longitudinal proyectada, a proa del centro de presiones de la obra viva) resultaba algo mayor que el de popa, y eso afecta negativamente a la estabilidad de ruta, se ha decidido incorporar un quillote en crujía a popa para compensar esta diferencia de áreas. Si bien es cierto que con el sistema propulsivo escogido para este buque puede mantener la estabilidad de ruta sin demasiada dificultad, este apéndice le facilitará la labor.



Ilustración 1. Áreas deriva sin quillote



Ilustración 2. Áreas deriva con quillote

Después de todas estas consideraciones se han generado las formas obteniendo la siguiente curva de áreas:

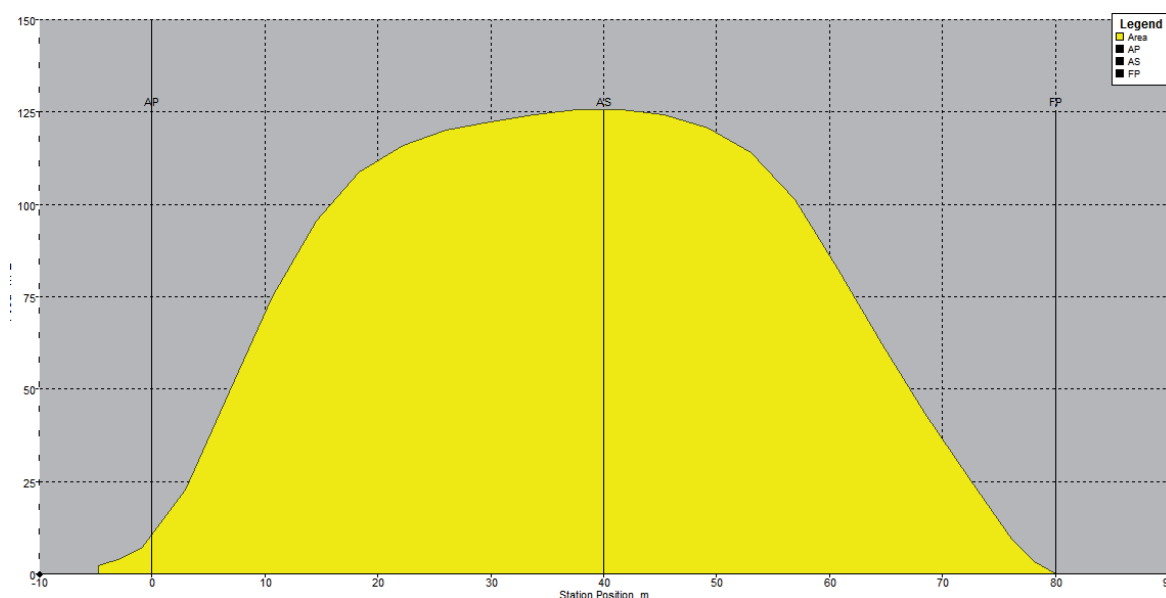


Ilustración 3. Curva de áreas

A la vista de la curva de áreas se pueden sacar algunas conclusiones satisfactorias entrada en



el cuerpo de proa ligeramente cóncava, cualidad que proporciona una mitigación de la resistencia por formación de olas y mejora el comportamiento en la mar del buque.

A esta entrada le sigue un tramo recto, que indica crecimiento homogéneo del área, a fin de no generar aumento en la resistencia al avance.

Los “shoulders”, tanto de proa como de popa no son nada pronunciados, esto evita desprendimiento del flujo en la sección de popa, con la consiguiente mitigación del aumento de la resistencia total.

Entre dichos “shoulders”, donde se encuentra la cuaderna maestra, cabe destacar la ausencia de cuerpo cilíndrico del modelo, tal y como se ha buscado desde su primer diseño.

Finalmente puede observarse, tanto en el cuerpo de popa, como en el de proa una reducción constante del área, lo que se traduce en un menor riesgo de desprendimiento de flujo. Es solo al final cuando la razón de reducción de áreas varía, mostrando un final nuevamente cóncavo, beneficioso para el buque, que termina bruscamente, debido a la popa de espejo ligeramente sumergida. El área de dicha popa de espejo sumergida es mínima, al calado de diseño máximo, a fin de evitar un aumento en la resistencia total de avance.

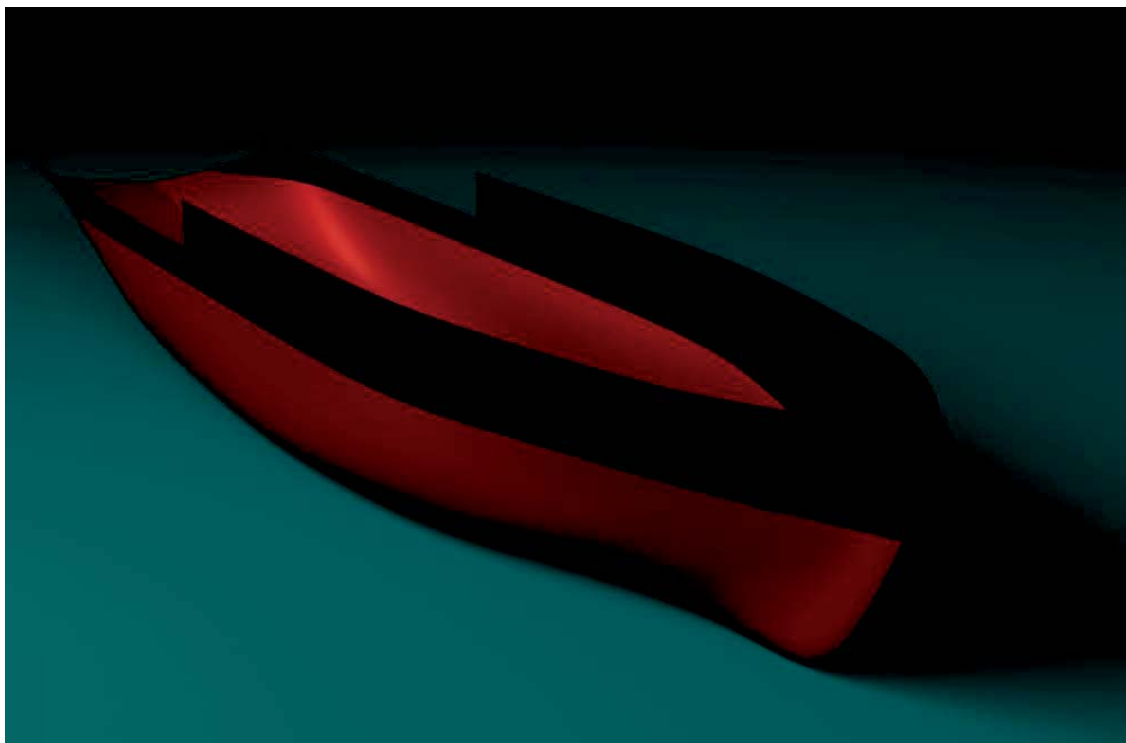


Ilustración 4. Vista proa estribor, modelo 3D



4. DISPOSICIÓN GENERAL

Para realizar la disposición general del proyecto lo primero que se ha hecho ha sido, de acuerdo a la reglamentación vigente y aplicable a este caso (Bureau Veritas y el convenio SOLAS) definir la estructura básica, los mamparos estancos y las cubiertas.

Para el diseño de la habilitación se han definido los cargos de la tripulación y se ha seguido el documento: *“Convenio sobre el trabajo marítimo (MLC)”* editado por la *International “Labour Organization”* en el 2006.

De acuerdo a las especificaciones de proyecto se exige una superficie de hangar y una superficie de cubierta de trabajo de, al menos, 1000 m² entre ambos conceptos, así como superficie total de laboratorios mayor de 120 m².

El hangar ocupa algo más de 400 m² y la cubierta de trabajo más de 600 m², con lo que se cumplen los requisitos estipulados para tal efecto.

Sobre esta cubierta de trabajo y hangar se han dispuesto las grúas que se especificaban en los requisitos de proyecto, simétricamente para evitar escoras o trimados indeseados.

Para evitar ángulos de inundación progresiva pequeños, se ha empleado en el local de roseta CTD una puerta de cierre hermético, que impida la entrada de agua exterior, además la puerta del hangar se sitúa en crujía quedando como punto crítico la escotilla superior del hangar, punto que se estudiará.

En este mismo documento se definen todos los tanques del buque, en base a la normativa aplicable (por ejemplo MARPOL para lodos), o bien en base a la autonomía dada en los requisitos, para el combustible o el tiempo de navegación.

Los tanques de agua dulce podrían parecer pequeños pero esto ha sido decidido así porque el buque lleva una planta potabilizadora capaz de generar el agua dulce necesaria para poder vivir, independientemente de esto, incorpora en sus gambuzas reservas extra de agua fresca.

Por último se han comprobado los diferentes flujos de funcionamiento del buque, con especial importancia el flujo de evacuación y llegada a las balsas o botes salvavidas, lográndose diseñar sin ninguna complicación rutas sencillas de abandono del buque.

5. CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL

Se pretende en este punto del proyecto poder confirmar que el trabajo realizado hasta el momento cumple unos criterios mínimos de estabilidad y que los tanques están bien definidos.

Para lograr este objetivo lo primero fue comprobar que los tanques no se solapaban y que el total de sus volúmenes era el esperado, luego de ello se comprueban sus centros de gravedad para la carga completa.

Teniendo las formas definidas se pueden conocer los valores de las tablas hidrostáticas, valores que permiten conocer de forma casi inmediata algunas características y parámetros del proyecto de un rápido vistazo, si se representan gráficamente.

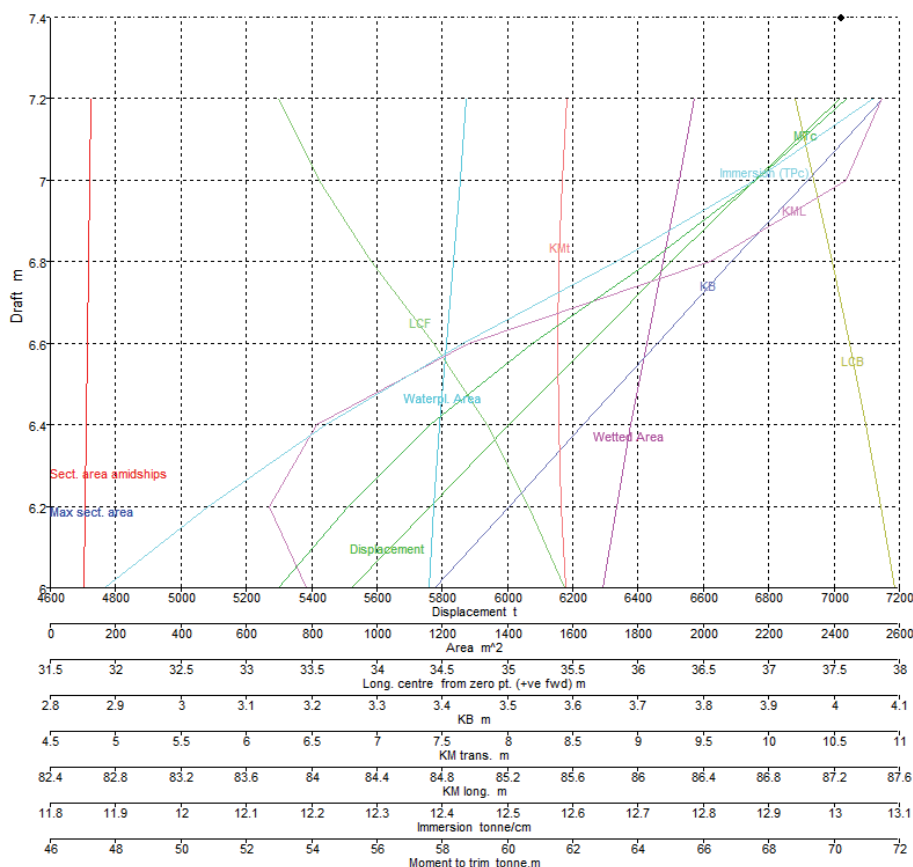


Ilustración 5. Curvas hidrostáticas

El estudio de la estabilidad se hace mediante las curvas GZ, de tal manera que se comparen los resultados obtenidos con los criterios mínimos exigidos por la Organización Marítima Internacional, después de definir los puntos de inundación progresiva.

El resultado obtenido es:

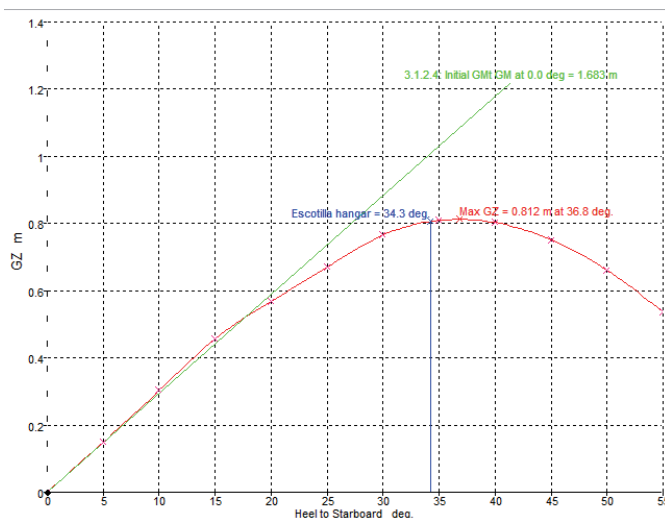


Ilustración 6. Curvas GZ, estabilidad intacta calado máximo

Se puede observar que para el calado máximo de diseño y escorando a babor, la escotilla superior del hangar es el punto de inundación crítico, sin embargo incluso en esta situación el buque cumple holgadamente la mayoría de los valores exigidos.

Criterios estabilidad intacta calado máximo			
Criterio	Valor mínimo	Valor obtenido	Margen
Area 0º a 30º (m-deg)	3.151	12.687	303%
Area 0º a 34,3º (m-deg)	5.160	16.061	211%
Area 30º a 34,3º (m-deg)	1.719	3.374	96%
GZ para >30º (m)	0.200	0.812	306%
Ángulo para GZ max (deg)	25.000	36.800	47%
GMt inicial (m)	0.150	1.683	1022%

Tabla 2. Criterios estabilidad intacta, calado máximo

Finalmente, se han calculado los valores de francobordo, tanto de verano como el resto de francobordos del buque, obteniéndose el siguiente disco de Plimsoll o marca de francobordo:

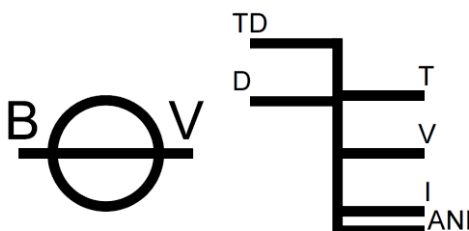


Ilustración 7. Marcas de francobordo

Lo último fue la estimación del arqueo bruto y el arqueo neto, que resultaron 4415,6 y 1324,7 respectivamente.

6. DISEÑO DEL PROPULSOR

Teniendo, las formas definidas, puede estimarse la resistencia al avance del buque mediante diversos métodos. Se ha escogido el método de Holtrop & Mennen, ya que es un método extendido y el buque que se ha proyectado encaja entre los criterios requeridos para su aplicación.

Parámetro	Límite inf.	Límite sup.	Valor
C _p	0,55	0,85	0,681
L/B	3,8	15	4,41
B/T	2,1	4,0	2,52

Tabla 3. Criterios aplicación Holtrop & Mennen

Una vez se aplica el método se obtienen los siguientes valores para la resistencia al avance y potencia de propulsión efectiva (EHP) necesaria para vencerlo.

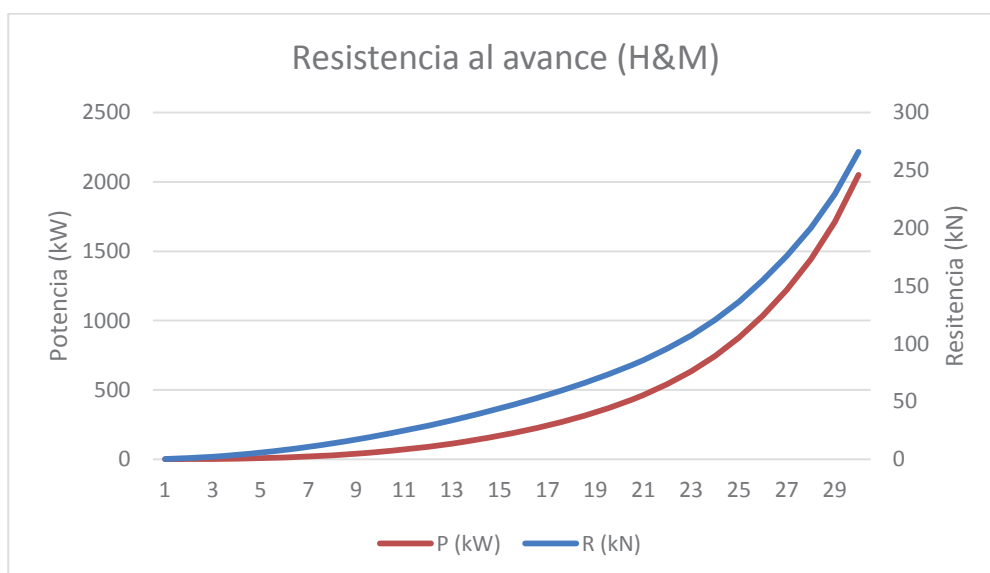


Ilustración 8. Resultados Holtrop & Mennen

A continuación, conociendo ya la potencia propulsiva necesaria se decidió el sistema de propulsión principal.

Desde el principio se buscó un sistema de dos líneas de ejes diferentes, y que ofreciesen la mayor maniobrabilidad y versatilidad posible.

Después de estudiar las alternativas, y atendiendo también a las potencias necesarias y costes de proyecto finales se optó por dos propulsores azimutales en popa RR-US 105 de Rolls-Royce y Ulstein, capaces de rotar 360°.

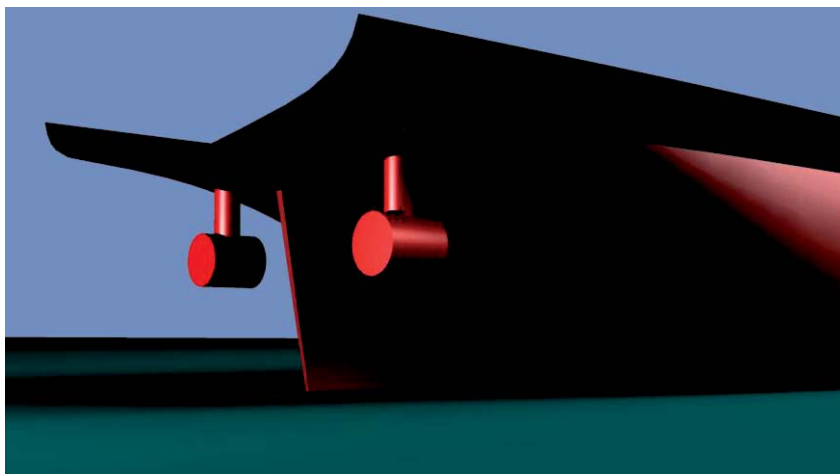


Ilustración 9. Vista popa estribor, propulsores posición propulsores azimutales

Sin embargo, para la velocidad máxima de servicio los propulsores instalados no eran capaces de ofrecer por si solos la potencia necesaria, por ello se decidió instalar un sistema de propulsión secundario, de alta potencia y preferiblemente de gran versatilidad para ayudar durante el posicionamiento dinámico si fuese necesario, o incluso para maniobrar en caso de fallo de los dos propulsores principales. Se ha elegido un sistema “pump-jet” de Schottel que no sobresale del casco.

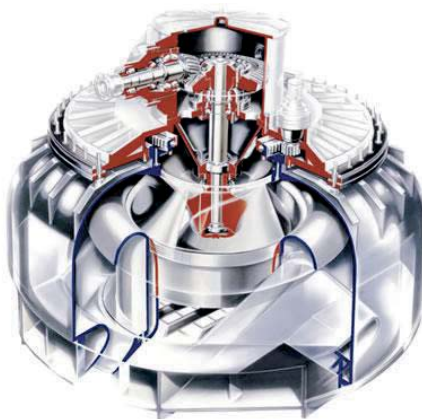


Ilustración 10. Schottel Pump-Jet

La única propulsión que restaba por decidir en este punto era la propulsión transversal de proa. Se han elegido dos STT4 de Schottel en base al estudio realizado del posicionamiento dinámico, que exigían una potencia superior a la esperada inicialmente por métodos tradicionales.

Tras elegir los propulsores se han optimizado los propulsores principales para la velocidad de servicio, que será en principio la de operación más frecuente. El método de optimización se realizó a través de las series B de Wageningen, primero calculando las revoluciones óptimas de trabajo, y luego el área/disco más beneficiosa hasta obtener una eficiencia cercana al 100%.



Una vez obtenido el valor definitivo después de cuatro iteraciones se comprueba que no cavite mediante dos métodos diferentes, Keller y Burrill. Se emplean dos métodos para asegurar la no cavitación, pues en este tipo de buques la cavitación es especialmente nociva, no solo para el buque en sí mismo sino también para la toma de datos.

Se probó que el primer propulsor diseñado que, aunque cumplía Keller no cumplía Burrill, por lo que se aumentó la relación área/disco a fin de solventar este problema, hasta que se logró obtener la solución adjunta en la tabla siguiente:

Características geométricas		
Z	4	-
Tipo hélice	FPP	-
D	1,8	m
Ae/Ao	0,536	-
H/D	0,941	-
h	3	m
n	300	RPM
η_0	0,561	-

Tabla 4. Características geométricas de propulsor principal

7. PLANTA PROPULSORA Y CÁMARA DE MÁQUINAS

Dado el tipo de propulsión diésel-eléctrica del buque, en la cámara de máquinas se dispondrán los grupos generadores principales.

Se han instalado seis grupos generadores Caterpillar C32, a fin de ofrecer una gran versatilidad y capacidad de trabajo en situaciones de carga muy diferentes, además de esta manera uno de ellos actuará como grupo generador de puerto, no siendo necesaria la instalación de un grupo auxiliar para tal fin.



Ilustración 11. Grupo generador, Caterpillar C32

La cámara de máquinas, a fin de aumentar la seguridad a bordo, se ha dividido en dos locales completamente independientes mediante un mamparo longitudinal completamente estanco. Esto garantiza que, en caso de fallo o inutilización de uno de los locales, puedan usarse los generadores del otro para volver a puerto en condiciones normales.

Se ha instalado también un grupo generador de emergencia Caterpillar C18 sobre el puente de mando, en el local de emergencia.

Igualmente quedaron elegidos los motores eléctricos de propulsión (asíncronos) y el tipo de corriente (alterna) que se van a emplear en el buque.

Por último se han diseñado los siguientes sistemas auxiliares de la cámara de máquinas:

- Sistema de combustible
- Sistema de lubricación
- Sistema de refrigeración
- Sistema de aire comprimido
- Sistema de exhaustación
- Sistema de ventilación
- Sistema hidráulico



8. EQUIPOS Y SERVICIOS

Una vez definidos los equipos de propulsión y auxiliares se deben definir el resto de equipos a bordo del buque, que serán los siguientes:

- Equipo de navegación y radiocomunicaciones
- Equipo de fondeo y amarre
- Equipo de salvamento
- Sistema de iluminación
- Sistema de achique y sentinas
- Servicio de aireaciones, reboses y sondas de tanques
- Sistema de lastre
- Sistema de baldeo y contra incendios
- Servicios sanitarios
- Sistema de aguas residuales
- Sistema de tratamiento de residuos
- Equipo de acondicionamiento de aire (HVAC)
- Servicios de habilitación
- Equipos sobre cubierta de trabajo
- Equipos de laboratorios

Todos los equipos se calculan de tal forma que cumplan con las normativas aplicables en cada caso, como SOLAS, MARPOL o Bureau Veritas.

En cualquier caso, particularmente en equipos de laboratorios, se ha propuesto una serie de equipos genéricos para cada tipo de laboratorio de manera conservadora, a fin de que pueda hacer frente a las situaciones más esperadas en la mar, y alguna que pueda resultar algo inusual, sin embargo estos equipos deberían ser revisados no solo durante su montaje, sino también antes de cada misión, a fin de adecuar el buque en la medida de lo posible para sus diferentes objetivos, dotándole así de la tan buscada versatilidad, que pueda alargar no solo su territorio de operaciones si no también sus años de vida útil.



9. PLANTA ELÉCTRICA

Ya definidos todos los equipos y sistemas que componen el buque solo resta comprobar que los grupos generadores instalados en el buque, ese es el principal objetivo de este cuaderno.

Lo primero que se realizó, tras definir los diferentes cuadros de distribución, con sus tensiones y frecuencias, fue un cálculo de las luces interiores del buque de tal manera que sean capaces de producir luz suficiente y de calidad en todas las áreas del buque, según el tipo de local que sean.

Tras esto se definieron los consumos de los diferentes grupos consumidores del buque, con lo que solo quedaba definir situaciones de carga típicas en las que el buque pueda encontrarse, dichas situaciones se han definido como:

- Navegación a velocidad económica (11 nudos)
- Navegación a velocidad máxima (15 nudos)
- Escenario oceanográfico con posicionamiento dinámico
- Puerto
- Emergencia

Las cargas se resumen a continuación por los diferentes escenarios ensayados:

Resumen cargas					
Situación	Velocidad económica	Velocidad máxima	Esc. oceanográfico	Puerto	Emergencia
Potencia real (kW)	1853.02	4678.62	4323.62	627.10	502.98
Potencia aparente (kVA)	2216.86	5409.36	5048.48	783.88	628.73
Tipo generador	Principal (C32)	Principal (C32)	Principal (C32)	Principal (C32)	Emergencia (C18)
nº generadores	3	6	6	1	1
Potencia generada (kVA)	3000	6000	6000	1000	700
Régimen	73.9%	90.2%	84.1%	78.4%	89.8%

Tabla 5. Resumen cargas, todas las situaciones

Se ha de tener en cuenta que la situación del escenario oceanográfico se ha definido para la condición más extrema de mar a la que el buque puede hacer frente manteniendo la posición con el sistema DP, pero para situaciones más sencillas y comunes puede sufrir grandes variaciones de carga, hasta el punto de requerirse solo 4 grupos generadores.

Una vez se comprobó que los grupos generadores elegidos eran capaces de hacer frente a las diferentes situaciones se calcularon los transformadores para disminuir el voltaje de la red principal y la de emergencia a la de alumbrado.



10.RESISTENCIA ESTRUCTURAL

Se ha decidido en este documento el material con que se construirá el buque así como el tipo de estructura que dispondrá.

La estructura será mixta, es decir longitudinal en el cuerpo central, para evitar grandes esfuerzos cortantes, y transversal en los extremos de popa y proa, donde una estructura longitudinal resulta más complicada.

El primer paso que se realizó fue calcular los esfuerzos cortantes y momentos flectores a considerar tanto en aguas tranquilas como en olas, de acuerdo a lo estimado en el Bureau Veritas, así como la inercia y el módulo de sección mínimo requerido.

En este cuaderno se definen los espesores mínimos que deberá tener cada chapa para poder hacer frente a las diferentes cargas que padezca, entre las que pueden encontrarse:

- Cargas de presión de mar
- Cargas de olas
- Cargas por cargamento líquido

Aplicando los márgenes de corrosión correspondientes según el medio al que se encuentren expuestas.

Una vez evaluados estos factores se dispusieron los elementos estructurales del buque, de acuerdo a elementos normalizados cuyo módulo, inercia y dimensiones vienen dados por el fabricante.

Para facilitar y comprobar los cálculos se ha empleado el programa MARS 2000 de Bureau Veritas, cuyos resultados para la sección maestra se adjuntan en el cuaderno 10.



11. PESO EN ROSCA Y CENTRO DE GRAVEDAD

Se realiza una estimación del peso del buque y su centro de gravedad, necesario para poder evaluar su estabilidad en las diferentes situaciones de carga,

En general para calcular los pesos se han usado tres caminos:

- Método de Aldwinckle para el cálculo del peso del acero continuo (longitudinal y transversal)
- Formulación dada por la referencia [2] de dicho cuaderno para diferentes espacios y equipos del buque cuyo peso era desconocido
- Datos ofrecidos por los diferentes fabricantes

La distribución del peso continuo se puede observar en la siguiente gráfica, en rojo el longitudinal y en azul el transversal:

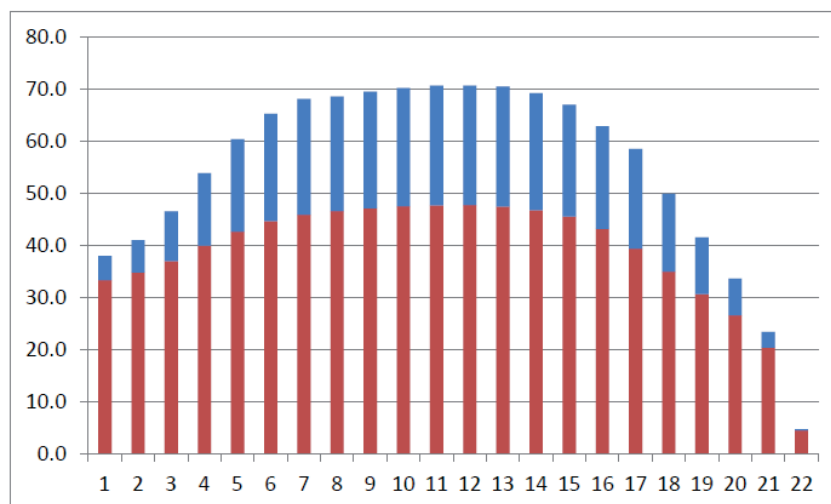


Ilustración 12. Distribución peso acero continuo, longitudinal y transversal

Y el resumen de los pesos conjunto a su centro de gravedad resulta:

Peso en rosca	
W R	3549.27
XG	40.58
KG	7.53

Tabla 6. Peso en rosca y c. de g.

12.SITUACIONES DE CARGA

En este punto el buque ya ha quedado completamente definido y resulta necesario comprobar que cumple los criterios de estabilidad, para las diferentes situaciones de carga en las que se puedan encontrar durante su operación.

Dado que este tipo de buques apenas llevan carga su calado no variará grandemente, además se ha diseñado de tal manera que el consumo de los tanques no varíe apenas el trimado, ya que un trimado excesivo por popa podría afectar negativamente a la toma de datos, y un trimado excesivo por proa directamente invalidarlos.

A fin de mantener este trimado nulo durante la operación del buque, si bien los tanques se consumirán de tal manera que el trimado no varíe mucho, los víveres y provisiones consumibles almacenados en la superestructura, para los 78 días de operación del buque sí que tendrán su trascendencia en el trimado del buque, es por ello que se ha dispuesto un tanque de lastre en el pique de proa.

Las tres situaciones que se estudiarán serán entonces:

- Salida de puerto al 100% de los consumos
- Llegada a puerto al 10% de los consumos y 90% de consumibles
- Situación intermedia

La primera es al calado de verano, y por tanto la más severa en cuanto a cálculos de estabilidad se refiere, por ello se muestra su gráfica de brazos escorantes GZ a continuación:

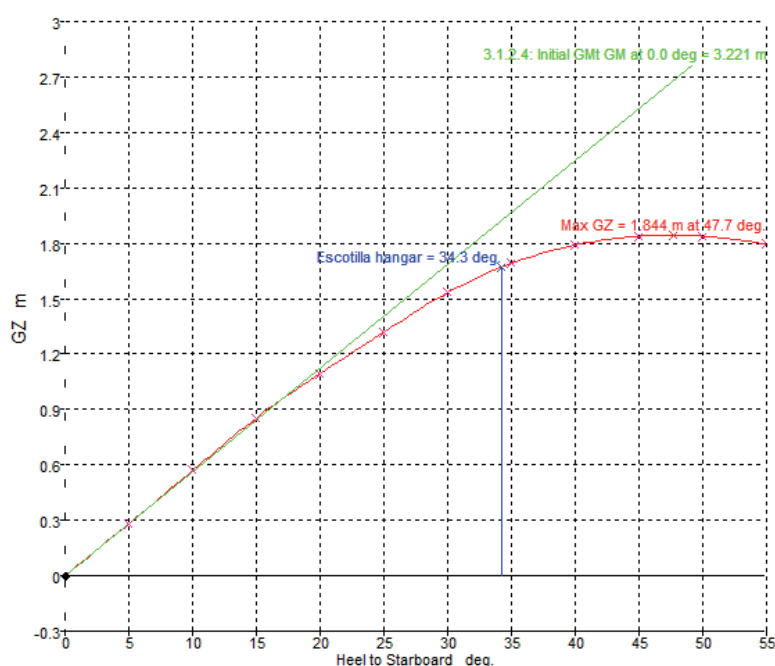


Ilustración 13. Curvas GZ, estabilidad intacta salida puerto 100% consumos



Se puede comprobar, que si bien el ángulo de inundación es inferior a 40°, es superior a 30° y cumple los criterios de estabilidad intacta estipulados por la OMI:

Criterios estabilidad intacta "Salida puerto"			
Criterio	Valor mínimo	Valor obtenido	Margen
Area 0° a 30° (m·deg)	3.151	28.297	798%
Area 0° a 34,3° (m·deg)	5.160	36.196	601%
Area 30° a 34,3° (m·deg)	1.719	7.898	359%
GZ para >30° (m)	0.200	1.910	855%
Ángulo para GZ max (deg)	25.00	34.300	37%
GMt inicial (m)	0.150	3.723	2382%

Tabla 7. Criterios estabilidad intacta, salida de puerto

Cumpliendo también el criterio de viento severo y balance:

Criterio viento severo y balance "Salida puerto"			
Parámetro	Criterio	Valor obtenido	Margen
θ_1 (°)	-	19.534	-
θ_2 (°)	-	34.300	-
lw_1	-	0.054	-
lw_2	-	0.081	-
θ_0 (°)	16.00	0.829	95%
Área a	-	29.101	-
Área b	-	74.036	-
b/a	1.000	2.544	154%

Tabla 8. Criterio de viento severo y balance, salida puerto

Se ha realizado igualmente un cálculo de la estabilidad en averías del buque mediante el método probabilista, habiéndose obtenido un resultado exitoso al respecto, como muestra la siguiente tabla resumen:

Resultados método probabilista		
Situación	R	A
Salida puerta	0.4872	0.6163
Situación intermedia	0.4872	0.6163
Llegada puerto	0.4872	0.6523
Total	0.5413	0.6235

Tabla 9. Resultados método probabilista



También se ha evaluado en este cuaderno la resistencia longitudinal, donde se puede observar la distribución de cargas, esfuerzos cortantes y momentos flectores, de tal manera que nunca sobrepasen los valores estipulados por la sociedad de clasificación correspondiente, en este caso Bureau Veritas.

La situación más desfavorable en este caso, es para la llegada a puerto al 10% de los consumos. Esto se debe a que al haber dispuesto los tanques en la zona central del buque para evitar trimados excesivo una vez consumidos, aumentan los esfuerzos cortantes, y por tanto el momento flector, quedando como se observa en la siguiente gráfica.

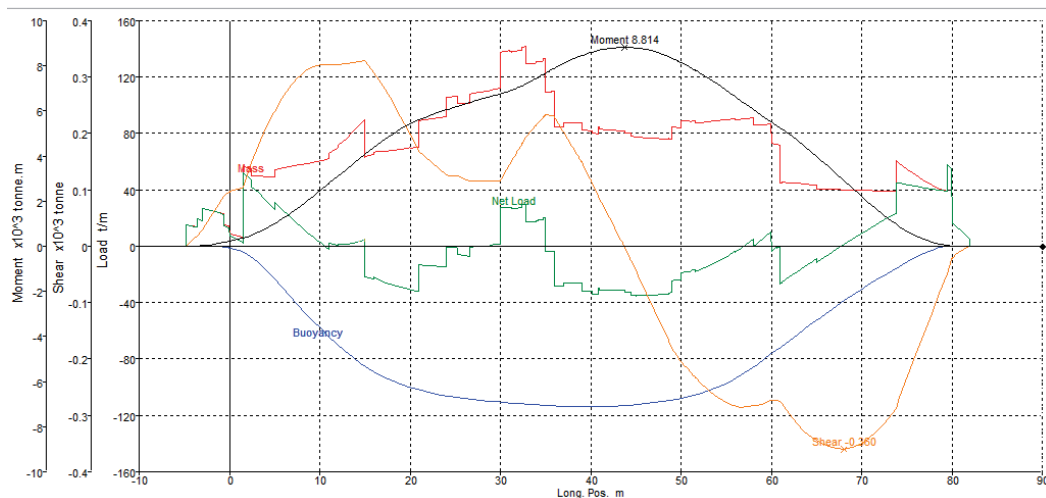


Ilustración 14. Resistencia longitudinal, llegada puerto 10% consumos

Se comprueba además, que estos valores de resistencia longitudinal cumplen con lo establecido por las sociedades de clasificación, al encontrarse los valores dentro de los límites establecidos.

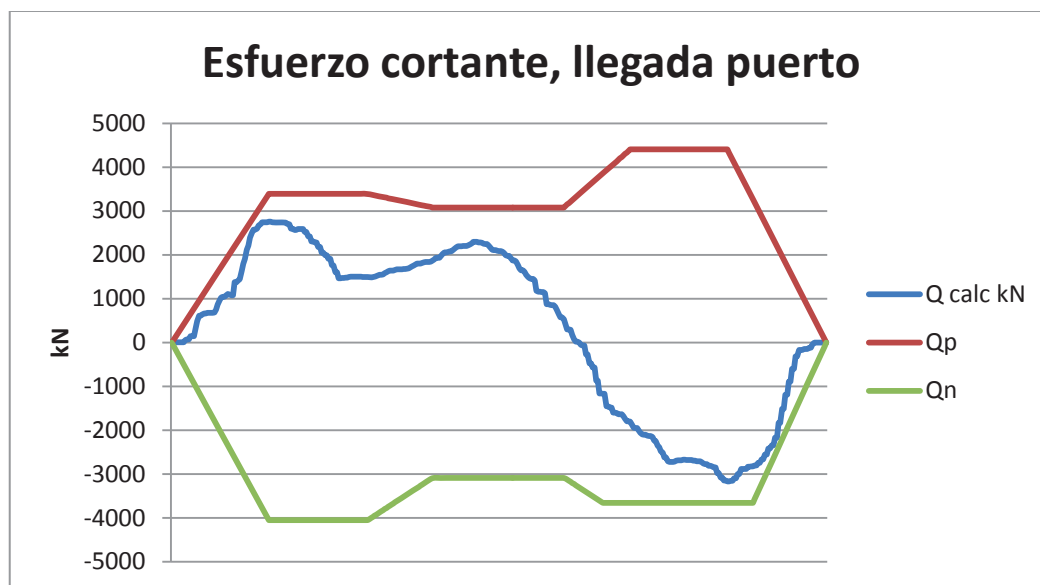


Ilustración 15. Esfuerzo cortante, llegada puerto

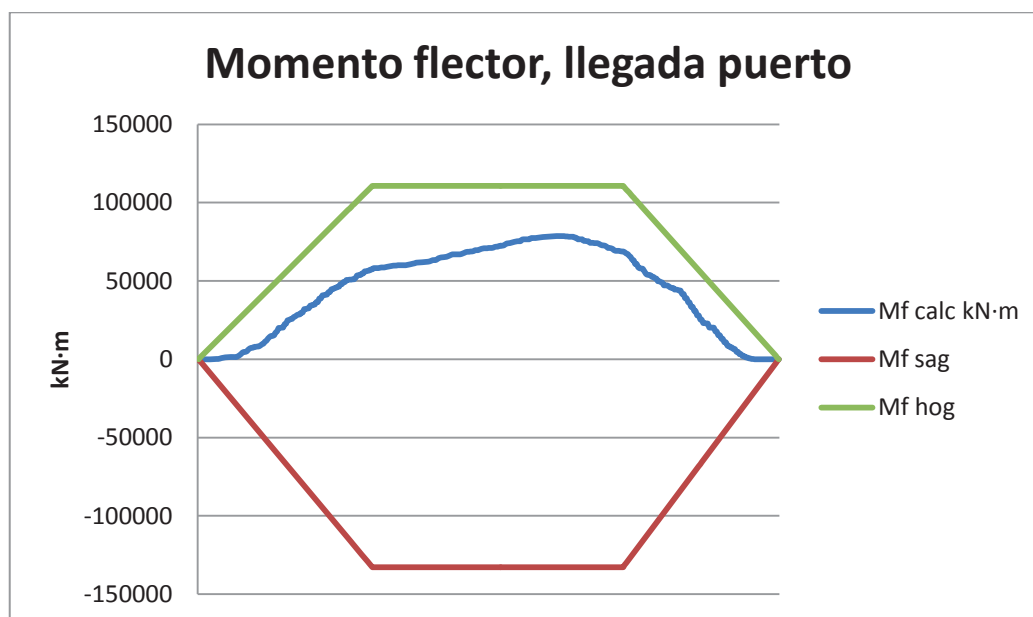


Ilustración 16. Momento flector, llegada puerto

Finalmente, dado que el buque dispone de tanques de combustible en el doble fondo y los costados, con una capacidad total superior a 600 m³ se ha evaluado el criterio de escape medio de hidrocarburos estipulado en la regla 12ª del anexo I del MARPOL, el cual a través de un compartimentado adecuado ha sido cumplido con éxito, permitiendo al presente proyecto dicha distribución de tanques de marine diésel oil.



13.PRESUPUESTO

El último cuaderno del anteproyecto del buque tiene gran importancia, pues es el que puede hacer el buque más atractivo para el armador o el astillero frente a otro de similares características. Por ello debe realizarse un cálculo tan detallado como sea posible de este cuaderno. Lo ideal sería contactar a todos los proveedores para los diferentes equipos, sin embargo se puede considerar como válido el resultado dado aquí, fruto de formulaciones basadas en un gran número de experiencias reales.

Como la formulación de la referencia empleada puede resultar un poco obsoleta se han realizado las correcciones necesarias aplicando el cambio de divisa cuando haya procedido y el incremento del IPC (Índice de Precios al Consumidor) correspondiente a los años de diferencia entre dichas formulaciones y la fecha actual, dato sacado del INE (Instituto Nacional de Estadística), y que si bien no es exacto, si valdrá para aproximar el valor a la realidad.

Los resultados de gastos de construcción, equipos, trabajadores, seguros, certificaciones y otros se resumen a continuación:

Resumen presupuesto					
Concepto	Coste (kPta)	Horas asociadas (h)	Coste trabajo (kPta)	Total (kPta)	Total (€)
Astillero	956720	0,0	0	956720	14.260.000 €
Casco	290647	194124,0	1552992	1843639	27.479.621 €
Equipo, armamento, instalaciones	354370	102743,8	821950	1176321	17.533.179 €
Maq. aux. de cubierta	55622	808,0	6464	62086	925.401 €
Instalación propulsora	265003	35591,0	284728	549730	8.193.785 €
Maq. aux. de propulsión	74098	14207,1	113657	187755	2.798.503 €
Cargos y respetos	102372	215,1	1721	104093	1.551.518 €
Instalaciones especiales	564400	11150,0	89200	653600	9.741.973 €
Total	2663231	358839,0	2870712	5533943	82.483.980 €

Tabla 10. Resumen presupuesto

Y aplicando a este valor un margen de beneficio del 5% para el astillero podría ofrecerse un presupuesto final de:

Presupuesto total: 86.625.000€

Se desglosan los gastos totales de materiales más mano de obra en el diagrama siguiente, porcentualmente:

Coste total

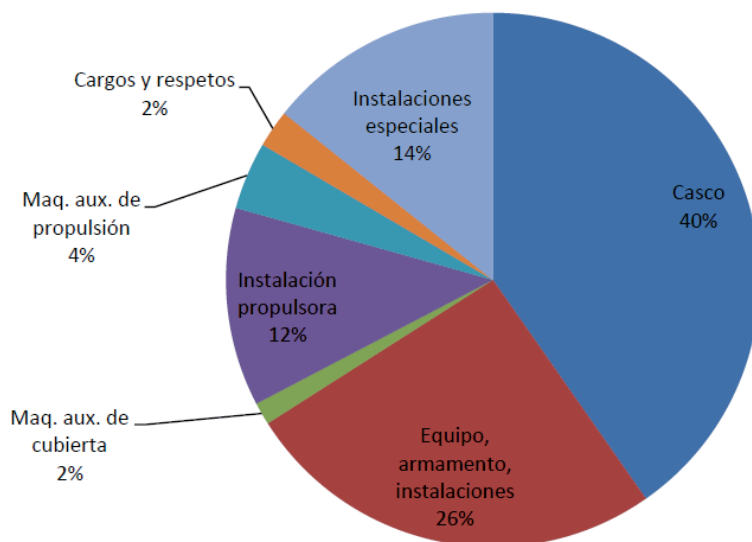


Ilustración 17. Distribución porcentual, costes buque

Finalmente, a modo de comprobación comparativa, se han tomado los presupuestos oficiales de diferentes buques de investigación oceanográfica construidos en los últimos años, en función de su eslora, para compararlos con el resultado obtenido:

Presupuesto buques			
Buque	Año construcción	Eslora (m)	Precio
Angeles Alvariño	2011	46	20.000.000 €
RV para universidad Qatar	2010	39	30.000.000 €
Investigator	2014	94	85.000.000 €
Neil Armstrong	2014	73	50.000.000 €
Discovery	2011	100	103.000.000 €
James Cook	2007	90	95.000.000 €
PFC 252	2015	80	86.625.000 €

Tabla 11. Comparativa presupuesto buques oceanográficos



Presupuestos oceanográficos

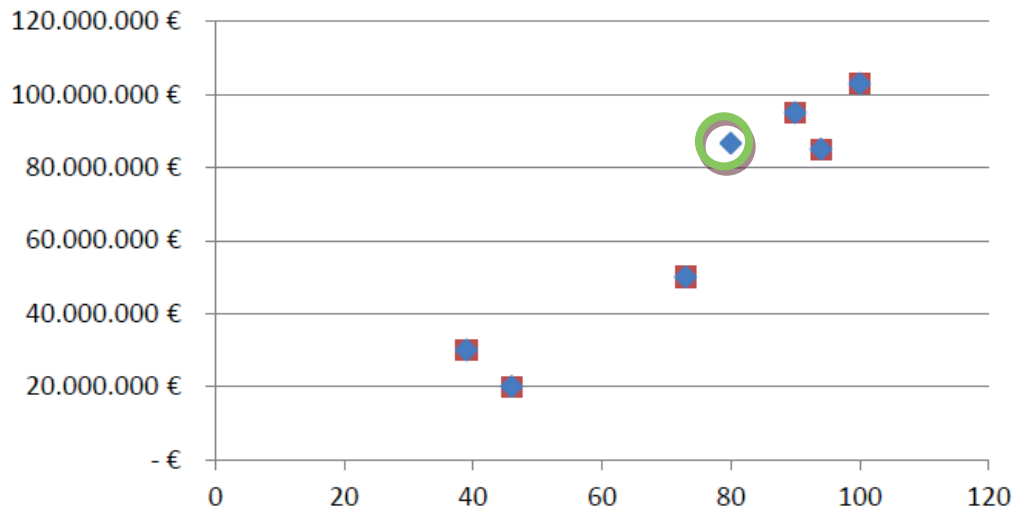


Ilustración 18. Comparativa presupuesto buques oceanográficos

Como puede observarse, el presupuesto obtenido para unas dimensiones como las del buque diseñado se encuentra dentro de los valores esperados.



14. ESTUDIO DE POSICIONAMIENTO DINÁMICO

En el cuaderno extra se ha demostrado la capacidad del buque para mantener la posición frente a condiciones ambientales severas, de acuerdo a la normativa de la sociedad de clasificación.

Si bien este estudio no puede tomarse como definitivo para conocer la respuesta real del buque frente a diversas condiciones externas, si que permiten obtener una serie de valores que podrían llegar a conceder al buque una notación de clase de posicionamiento dinámico determinada.

En concreto, con los resultados obtenidos y en caso de que el armador estuviera interesado en esta mejora, podría tratar de obtenerse la notación de clase DYNPOS, algo superior a la equivalente DPS que incorpora el presente proyecto, y de la forma en que se ha diseñado, dividiendo la cámara de máquinas en dos compartimentos independientes, con algunas modificaciones no muy complejas podría llegar a obtenerse la notación DYNPOS-AUTRO, máxima otorgada por esta sociedad de clasificación. Todo esto como ya se ha dicho, es una opción a barajar y no una decisión definitiva.

Por otra parte, el estudio de este cuaderno ha valido para tomar la determinación de incrementar la potencia de los propulsores transversales de proa, dotando de esta forma al buque con una mayor capacidad de posicionamiento dinámico.



15.CONCLUSIONES

Se ha pretendido, a lo largo de este Proyecto Final de Carrera, desarrollar el anteproyecto de un buque oceanográfico de 7.000 toneladas de desplazamiento, para objetivos de investigación oceanográfica multipropósito durante largas estancias en alta mar.

Para ello se ha tratado, además de optimizar al máximo posible todos los diferentes aspectos del buque, cumplir con éxito los requisitos iniciales del proyecto, tal y como se compara a continuación:

Resultados frente a requisitos iniciales		
Parámetro	Valor requerido	Valor obtenido
Calado máximo	7.2 m	7.193
Desplazamiento	7.000 t	7009
Velocidad máxima	15 kn (90%MCR)	15 kn (90,2%)
Velocidad económica	11 kn	11 kn
Autonomía (vel. Econ.)	20.000 mn	20.220 mn
Propulsión	Diesel-eléctrica (DPII)	Si
Superficie zona científica	> 1000 m ²	1050 m ²
Superficie laboratorios	> 120 m ²	284 m ²
Equipamiento mínimo cubierta	Pórtico popa 20t	Si
	2 x grúas 15 t a 15 m	Si
	2 x grúas 3 t a 15 m	Si
	Grúa telescópica 0,5 t a 22 m	Si

Tabla 12. Comparación resultados frente a requisitos

Además se han cumplido todas las especificaciones y normativas aplicables a este tipo de buques, especialmente la sociedad de clasificación especificada, Bureau Veritas, y las normativas SOLAS y MARPOL.

Si bien esto solo es un anteproyecto y se han obtenido los objetivos logrados a tal fin, aún debe mejorarse en sucesivas vueltas a la espiral de proyecto, para ello se ofrecen algunas posibles ideas:

- Realizar una mejor distribución de los pesos a lo largo del buque, a fin de homogeneizar las cargas y por tanto reducir los esfuerzos cortantes y momentos flectores obtenidos.
- Ensayar un modelo del buque en canal de ensayos, tanto para optimizar su resistencia al avance y las formas del casco como para comprobar y mejorar en la medida de lo posible su comportamiento en la mar.